

Entwicklung dynamischer Vorstellungen:
Zum Einfluss visueller und sensumotorischer Information
auf die mentale Repräsentation bewegter Ereignisse

Abhandlung
zur Erlangung der Doktorwürde
der Philosophischen Fakultät
der Universität Zürich

vorgelegt von
Andrea Frick

von
St. Gallen – Straubenzell, St. Gallen

Angenommen auf Antrag von
Herrn Prof. Dr. Friedrich Wilkening
Herrn Prof. Dr. Fred W. Mast

Zürich, 2005

Diese Dissertation ist verfügbar unter:

<http://www.dissertationen.unizh.ch/>

Inhalt

DANK	4
ZUSAMMENFASSUNG	5
ENGLISH ABSTRACT	7
THEORETISCHER HINTERGRUND	9
Einleitung	9
Wissen über die physikalische Welt	11
<i>Deskriptives Wissen</i>	<i>11</i>
<i>Frühe Kompetenzen</i>	<i>13</i>
<i>Handlungswissen</i>	<i>14</i>
Mentale Repräsentationen	16
<i>Beschreibende oder bildhafte Repräsentationen?</i>	<i>18</i>
<i>Mentale Repräsentationen und Sensumotorik</i>	<i>20</i>
<i>Mentale Repräsentationen bei Kindern</i>	<i>21</i>
Forschungsfragen und methodischer Zugang	25
Überblick über die Experimente	28
EXPERIMENT 1	31
Kurzer Überblick	31
Einleitung	32
<i>Horizontalität von Wasseroberflächen</i>	<i>32</i>
<i>Die Wasserglas-Kipp-Aufgabe</i>	<i>35</i>
Experiment 1a (Water-Level-Aufgabe)	38
<i>Methode</i>	<i>38</i>
<i>Resultate & Interpretation</i>	<i>39</i>
<i>Diskussion</i>	<i>42</i>
Experiment 1b (Wasserglas-Kipp-Aufgabe)	43
<i>Methode</i>	<i>43</i>
<i>Resultate & Interpretation</i>	<i>46</i>
<i>Diskussion</i>	<i>55</i>

EXPERIMENT 2	57
Kurzer Überblick	57
Einleitung	58
<i>Kinematische Modelle</i>	58
<i>Dynamische Modelle</i>	59
<i>Dynamische Repräsentationen bei Kindern</i>	61
Experiment 2a (Handlungs-Aufgabe neutral)	63
<i>Methode</i>	63
<i>Resultate & Interpretation</i>	66
<i>Diskussion</i>	73
Experiment 2b (Handlungs-Aufgabe mit Schwungrad)	75
<i>Methode</i>	75
<i>Resultate & Interpretation</i>	76
<i>Diskussion</i>	81
Experiment 2c (Urteils-Aufgabe)	83
<i>Methode</i>	83
<i>Resultate & Interpretation</i>	84
<i>Diskussion</i>	89
EXPERIMENT 3	91
Kurzer Überblick	91
Einleitung	92
Experiment 3a (Handlungs-Aufgabe neutral)	93
<i>Methode</i>	93
<i>Resultate & Interpretation</i>	95
<i>Diskussion</i>	103
Experiment 3b (Handlungs-Aufgabe mit Schwungrad)	104
<i>Methode</i>	104
<i>Resultate & Interpretation</i>	105
<i>Diskussion</i>	112
Experiment 3c (Urteils-Aufgabe)	113
<i>Methode</i>	113
<i>Resultate & Interpretation</i>	114
<i>Diskussion</i>	121

EXPERIMENT 4	123
Kurzer Überblick	123
Einleitung	124
<i>Isomorphie-Hypothese / Direct Mapping</i>	124
<i>Timing-Responsive Representations</i>	125
Experiment 4a (Aufgabe mit Motor, visuell)	127
<i>Methode</i>	127
<i>Resultate & Interpretation</i>	129
<i>Diskussion</i>	135
Experiment 4b (Aufgabe mit Motor, blind)	137
<i>Methode</i>	137
<i>Resultate & Interpretation</i>	138
<i>Diskussion</i>	143
VERGLEICH ZWISCHEN DEN EXPERIMENTEN	145
ALLGEMEINE DISKUSSION	147
<i>Horizontalitätskonstanz</i>	147
<i>Mentale Repräsentationen bei Kindern</i>	148
<i>Mentale Repräsentationen und Sensumotorik</i>	149
<i>Absolute Genauigkeit</i>	152
<i>Praktische Implikationen</i>	153
<i>Ausblick</i>	154
<i>Fazit</i>	155
LITERATUR	156
CURRICULUM VITAE	166

Dank

Eine Dissertation ist ein Produkt aus einigen Monaten des Schreibens, einigen Jahren des Forschens und vieler Jahre des Lernens. Daher möchte ich an dieser Stelle allen Personen danken, die mir beim Verfassen dieser Arbeit geholfen haben und die mich bei der Durchführung und Planung der Untersuchungen unterstützt haben. Meine Dankbarkeit gilt aber in nicht geringerem Ausmass auch denjenigen Personen, die mir im Laufe meines Lebens und meiner Ausbildung Wissen vermittelt haben, welches mich zu dieser Arbeit befähigte. Der Versuch, diese Personen alle namentlich aufzuführen, würde einen weiteres Buch füllen, darum beschränke ich mich im Folgenden auf eine Nennung derjenigen Personen, die mich insbesondere während meiner Doktorandenzeit unterstützt haben.

Herzlichsten Dank an:

- meinen Doktorvater Friedrich Wilkening für seine fördernde Unterstützung und die Möglichkeit in einem sehr angenehmen Team zu arbeiten
- meinen Koreferenten Fred W. Mast für wertvollen Kommentare und motivierende Gespräche
- das Team der Allgemeinen und Entwicklungspsychologie des Psychologischen Instituts der Universität Zürich für soziale und fachliche Unterstützung
- meinen Kollegen Moritz Daum für seine Präsenz, viele interessante und konstruktive Diskussionen und Hilfe bei der Planung der Untersuchungen
- alle Kinder und Erwachsene, die an den Untersuchungen teilgenommen und damit einen essentiellen Beitrag zu dieser Arbeit geleistet haben
- die Kreisschulpflege Zürichberg, die Lehrer, Lehrerinnen und Eltern, welche die Untersuchungen mit „ihren“ Kindern ermöglichten und förderten
- Regula Flütsch, Jan Rauch, Simone Walser, Marcello Indino, Christine Leuthold und Alexia Diggelmann für ihre tatkräftige Hilfe bei der Rekrutierung und Datenerhebung
- Eveline Stadelmann für ihre spontane Bereitschaft zum Korrekturlesen
- Daniel L. Schwartz für viele wertvolle Ideen und seine reichhaltige Vorarbeit
- Susanne Huber und Horst Krist für hilfreiche Rückmeldungen aus grösserer Entfernung
- Jacqueline Frick für hilfreiche Kommentare zu Teilen der Arbeit, motivationale Unterstützung und ihr unermüdliches Korrekturlesen.
- Henri Gossweiler und Walter Schmid für das Herstellen der Versuchsaapparatur
- meine Eltern, die mir nicht nur das Studium ermöglichten, sondern mich auch während der Dissertation in vielerlei Hinsicht unterstützten

Zusammenfassung

Frühere entwicklungspsychologische Studien (z. B. Piaget & Inhelder, 1971, 1975) sind dahingehend interpretiert worden, dass jüngere Kinder Schwierigkeiten haben, sich bewegte physikalische Ereignisse vorzustellen. Neuere Studien haben jedoch gezeigt, dass schon Vorschulkinder in der Lage sind, Transformationen intern zu repräsentieren (z. B. Kosslyn, Margolis, Barrett, Goldknopf, & Daly, 1990; Marmor, 1975) und dass solche mentalen Transformationen durch unterstützende motorische Aktivierung gefördert werden können (z. B. Rieser, Garing, & Young, 1994). Weitgehend ungeklärt ist bisher, ob jüngere Kinder auch dynamische Aspekte in ihre Vorstellungen integrieren und welche Mechanismen für die bessere Vorstellungsleistung bei einer unterstützenden Handlung verantwortlich sind.

In der vorliegenden Arbeit wurde untersucht, ob und ab welchem Alter Kinder fähig sind, Aufgaben zu lösen, die dynamische Vorstellungen erfordern, und welche Faktoren förderlich, notwendig oder hinderlich sind, um sich dynamische physikalische Transformationen vorstellen zu können. Es wurden vier Experimente mit insgesamt 204 Kindern im Alter von 4 bis 10 Jahren und 100 Erwachsenen durchgeführt. Die Experimente setzten sich jeweils aus verschiedenen Aufgabentypen zusammen, wie Zeichen-Aufgaben, Auswahl-Aufgaben (*forced choice*), Urteils-Aufgaben und Handlungs-Aufgaben mit unterschiedlicher visueller, haptischer und sensumotorischer Rückmeldung. Gemeinsam war allen, dass Gläser präsentiert wurden, in denen sich die Kinder und Erwachsenen Wasser vorstellen sollten, wobei es für ein korrektes Lösen der Aufgaben von zentraler Bedeutung war, die Wasseroberfläche als horizontal zu repräsentieren, unabhängig von der Ausrichtung des Glases.

Experiment 1 bestand zum einen aus der klassischen *Water-Level*-Aufgabe (Piaget & Inhelder, 1975), welche das von Piaget postulierte Verständnis der *Horizontalitätskonstanz* erfassen soll. Zum anderen lösten dieselben Kinder und Erwachsenen eine Wasserglas-Kipp-Aufgabe (Schwartz & Black, 1999), welche darin bestand, ein Glas mit darin vorgestelltem Wasser so weit zu kippen, bis das imaginäre Wasser den Glasrand erreichen würde. Schon 5-jährige Kinder zeigten eine gute Vorstellungsleistung in dieser Handlungs-Aufgabe. Diese Resultate waren im Einklang mit Ergebnissen früherer Studien. Die Leistung in der *Water-Level*-Aufgabe stand – abgesehen vom Alter der Kinder – in keinem Zusammenhang mit der Leistung, sich das Wasser in der Handlungs-Aufgabe horizontal vorzustellen. Es zeigte sich zudem eine Dissoziation zwischen dieser Leistung in der Handlungs-Aufgabe und abstraktem Regelwissen.

In Experiment 2 wurden die Leistungen in der Handlungs-Aufgabe unter verschiedenen Bedingungen verglichen. Erstens wurde die Aufgabe neutral (d.h. ähnlich wie in Experiment 1, aber mit veränderter Versuchsanordnung) durchgeführt. Zweitens

wurden die dynamischen Eigenschaften der Kippbewegung durch ein zusätzliches Drehmoment verändert. Drittens sollte in einer Urteils-Aufgabe ohne die entsprechende Kippbewegung geschätzt werden, wie weit man die Gläser kippen könnte. Ohne die Kippbewegung zeigten sich durchwegs schlechte Vorstellungsleistungen. Von der Manipulation der dynamischen Eigenschaften der Kippbewegung durch das zusätzliche Drehmoment waren vor allem die 5-jährigen Kinder betroffen, während ältere Kinder und Erwachsene keine nennenswerte Beeinträchtigung zeigten. Diese Resultate deuten darauf hin, dass jüngere Kinder noch mehr auf eine Aktivierung gewohnter motorischer Schemata angewiesen sind, während ältere Kinder Vorstellungen flexibler und unabhängig von den dynamischen Eigenschaften der Handlung generieren und kontrollieren können.

Experiment 3 sollte Aufschluss darüber geben, inwiefern visuelle und haptische Information wichtig ist für eine Repräsentation der Wasseroberfläche und ein adäquates Ausführen der Handlung. Visuelle Information über die Kippbewegung verbesserte die Vorstellungsleistung. Haptische Information über den Glasdurchmesser beeinflusste die Leistungen nur bei den Kindern, wenn keine visuelle Information zur Verfügung stand.

Experiment 4 befasste sich mit der Frage, ob eine aktiv ausgeführte Handlung zu einer besseren Performanz, beziehungsweise besseren Vorstellungsleistung, führt als ein bloss passives Beobachten des Effekts dieser Handlung. Die Resultate lassen darauf schliessen, dass eine aktiv ausgeführte Handlung vor allem bei jüngeren Kindern Vorstellungsleistungen unterstützen kann, während mit zunehmendem Alter mentale Repräsentationen auch ohne motorische Unterstützung transformiert werden können.

Zusammengefasst zeigten die Ergebnisse, dass schon 5-jährige Kinder in den handlungsnahen Aufgaben, in denen sie die Gläser aktiv und unter visueller Kontrolle drehen konnten, erfolgreich eine Vorstellungsstrategie anwandten und dabei auch dynamische Aspekte in ihre Vorstellungen integrierten. In abstrakten Urteils-Aufgaben hingegen, oder in Handlungs-Aufgaben ohne visuelle Information, wurden in allen Altersgruppen bedeutend schlechtere Leistungen festgestellt. Die Experimente liefern konvergierende Evidenz dafür, dass 5-jährige Kinder auch mit visueller Kontrolle noch vermehrt auf eine aktive motorische Ausführung einer Handlung und sensumotorische Rückmeldung angewiesen sind, um sich bewegte Ereignisse vorstellen zu können. Mit zunehmendem Alter werden dynamische Repräsentationen unabhängiger von motorischer Aktivierung.

English Abstract

Previous studies pioneered by Piaget and collaborators (e. g. Piaget & Inhelder, 1971, 1975) have shown that children seem to have difficulties representing water as a horizontal surface, and imagining kinetic or dynamic physical events. However, some studies on mental imagery have shown that preschoolers are able to imagine object transformations (e. g. Kosslyn, Margolis, Barrett, Goldknopf, & Daly, 1990; Marmor, 1975) and that these mental transformations can be facilitated by concurrent motor activities (e.g. Rieser, Garing, & Young, 1994). It remains largely unclear whether younger children are also able to integrate dynamic aspects into their mental simulations, and which mechanisms are responsible for this improved imagery performance when supported by motor activity.

The aim of the present study was to compare children and adults' performance in a dynamic imagery task and to investigate the effects of visual and sensory-motor information on imagery performance. In four experiments a total of 204 children from 4 to 10 years and 100 adults were tested. The experiments consisted of different tasks, such as judgment tasks, a drawing task, a forced choice task and action tasks with different visual, haptic and sensory-motor feedback. In all tasks empty glasses were presented, in which a certain amount of water had to be 'pretended'. To solve tasks correctly it was crucial that this imaginary water was represented horizontally inside the glass, independent of the actual orientation of the glass.

Experiment 1 adopted the classic *Water-Level* task (Piaget & Inhelder, 1975), which is supposed to measure the understanding of horizontality, as postulated by Piaget. Additionally, the same children and adults solved an action task that required tilting an empty glass, filled with imaginary water, so that the imagined water would reach the rim (Schwartz & Black, 1999). The results were in line with previous studies. Children as young as 5 years old performed well on the tilting task. The performance in the *Water-Level* task was – apart from age – not correlated to the performance in the tilting task. In addition, a strong dissociation could be found between the performance in the action task and a forced choice task.

In Experiment 2 the performance in the tilting task was tested under different conditions. First, the task was presented in a neutral condition (i.e. similar to Experiment 1 but employing another apparatus). Second, the dynamic properties of the tilting movements were manipulated by adding an unusual momentum. Third, the tilting angle, that is how far the glass could be tilted until the imaginary water would reach the rim, had to be judged without the concurrent tilting movement. Results showed that without a concurrent tilting movement task performance was generally low. The manipulation of the dynamic properties of the tilting movement by an additional momentum primarily affected 5-year-olds, whereas older children and adults did not show any impairment.

This suggests that younger children are more reliant on the activation of familiar motor schemas, whereas older children are able to generate and control their mental images more flexibly and independently of the dynamic properties of their actions.

Experiment 3 was conducted in order to shed light on whether visual and haptic information are necessary or beneficial for the mental representation of the water surface as horizontal and conducive to an adequate tilting movement. Visual information on the tilting movement improved performance. Haptic information about the glass diameter, however, only affected the performance of children when no visual information was accessible.

Experiment 4 further probed the question of whether an actively executed movement led to better imagery performance than passively observing the same movement. The results suggest that an actively executed hand movement can support imagery performance especially in younger children, whereas older children are increasingly proficient at transforming mental representations even without a supporting motor activation.

To summarize, the results showed that children as young as 5 years old successfully applied an imagery strategy in action tasks, in which glasses could be tilted actively and with visual control. In doing so, they also incorporated dynamic aspects of the tilting movement. In abstract judgment tasks however, and in action tasks without visual information, all age groups showed remarkably lower performance. Taken together, the experiments yield converging evidence that 5-year-olds largely depend on actively executed movements and sensory-motor feedback to imagine dynamic events. These results suggest that transforming mental representations becomes increasingly independent of motor activity as children develop.

Theoretischer Hintergrund

Einleitung

Unser Alltag bietet eine Fülle an Möglichkeiten, um Erfahrung über physikalische Vorgänge, wie etwa der Bewegung von Objekten, zu sammeln. Während wir mit unserer physikalischen Umwelt interagieren, formulieren wir fortlaufend Annahmen über diese physikalischen Prozesse. Wir extrapolieren Bewegungsbahnen von Objekten oder versuchen künftige Zustände zu antizipieren, um unsere eigenen Bewegungen räumlich und zeitlich auf diese abzustimmen. Somit ist es uns beispielsweise möglich, eine Handbewegung auszuführen um einen Ball aufzufangen, oder zu entscheiden, ob wir noch gefahrlos vor einem heranahenden Lastwagen über die Strasse gehen können. Dabei können diese Prozesse sehr handlungsnah und automatisiert sein, wie etwa das Problem, wie stark ich ein rohes Ei halten muss, damit es mir nicht aus den Fingern gleitet. Häufig müssen wir aber auch Vorannahmen über entfernte Objekte treffen, über die wir keine direkte sensumotorische Rückmeldung erhalten.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Frage, wie gut verschiedenalttrige Kinder und Erwachsene Voraussagen über ein alltägliches bewegtes Ereignis treffen können, ob sie sich dieses Ereignis dabei in realistischer Weise vorstellen und welche Rolle die sensumotorische und visuelle Rückmeldung spielt.

Im Folgenden werden zur breiteren Einordnung als erstes einige generelle Befunde über das Wissen von Kindern und Erwachsenen über die physikalische Welt berichtet. Nebst Fehlannahmen über physikalische Gesetze in einigen Bereichen werden erstaunliche frühe Kompetenzen in anderen Inhaltsbereichen aufgezeigt. Jedoch nicht nur der Kontext hat einen Einfluss auf das von Kindern und Erwachsenen gezeigte Wissen, sondern auch Methoden- und aufgabenspezifische Ergebnisse fordern verschiedenartige Herangehensweisen.

Im Weiteren wird auf mentale Repräsentationen eingegangen, dies zuerst aus allgemeinspsychologischer Perspektive, zu der viel und weit zurückreichende Literatur vorhanden ist. Besonders relevant sind dabei für die folgende Arbeit einige jüngere Studien zum Zusammenhang zwischen mentalen und motorischen Prozessen. Anschliessend werden entwicklungspsychologische Studien über mentale Repräsentationen generell und im Zusammenhang mit motorischen Prozessen diskutiert.

Am Ende des theoretischen Teils werden die generellen Fragestellungen und methodische Vorgehensweise dargelegt. Eine kurze Zusammenfassung und ein tabellarischer Überblick sollen die Orientierung über die durchgeführten Experimente erleichtern. Auf detailliertere Fragestellungen und spezifische Literatur mit direkter Relevanz für die jeweiligen Fragestellungen wird direkt vor den Experimenten 1 bis 4 eingegangen.

Wissen über die physikalische Welt

Deskriptives Wissen

Um herauszufinden, wie Personen Voraussagen über Ereignisse in ihrer Umwelt treffen, wie akkurat diese Voraussagen sind und auf welcher Wissensbasis sie beruhen, wurden in der psychologischen Forschung ganz unterschiedliche Methoden und Techniken entwickelt. Eine Forschungsrichtung, die sich mit diesen Fragen beschäftigt, umfasst Studien zur so genannten *intuitiven Physik* oder auch *naiven Physik* und ist im Bereich der kognitiven Psychologie oder Pädagogik anzusiedeln. Ein Grossteil dieser Studien untersuchen, welches verbalisierbare, bewusst zugängliche, „explizite“ oder „deskriptive“ Wissen Kinder und Erwachsene über physikalische Gesetzmässigkeiten besitzen (z. B. Clement, 1982, 1983; Gilden & Proffitt, 1989; Kaiser, Jonides, & Alexander, 1986; Kohn, 1993; McCloskey, 1983a; McCloskey, Caramazza, & Green, 1980; McCloskey & Kohl, 1983; McCloskey, Washburn, & Felch, 1983; Piaget & Inhelder, 1941). Dieses deskriptive Wissen äussert sich in Annahmen, die sich – in Bezug auf allgemein anerkannte physikalische Gesetze – in richtig oder falsch einstufen lassen.

Deskriptives Wissen stellt insofern eine wichtige Form von Wissen dar, als es kommunizierbar ist. Wissenschaftliche Diskurse oder Wissensvermittlung in der Bildung haben meist deskriptive Form. So befasste sich sowohl die Bildungsforschung als auch die Entwicklungspsychologie lange Zeit typischerweise mit dem Erlernen von deskriptivem Wissen, wie akkuratere Deskriptionen alte ersetzen oder erweitern, und wie wir uns von einem naiven zu einem differenzierteren Wissenschaftsverständnis entwickeln (Karmiloff-Smith, 1992; Piaget & Inhelder, 1941; White, 1993).

Es finden sich in der psychologischen Literatur zahlreiche weitere Begriffe für Repräsentationen, welche sich auch als deskriptives Wissen bezeichnen liessen: Vorannahmen (presuppositions: z. B. Vosniadou & Brewer, 1993), naive Theorien, naives Wissen und naiver Glaube (z. B. Caramazza, McCloskey, & Green, 1981; z. B. Clement, 1983; Hatano & Inagaki, 1994; Janke, 1995; Krist, 2000; Maehler, 1999; McCloskey et al., 1980; McCloskey & Kohl, 1983; Pine, Messer, & Godfrey, 1999), (Miss-) Konzepte (Wilkening & Lamsfuss, 1993), Analogien (z. B. Gentner et al., 1997), und mehrere Formen von lokalen und

globalen Regeln (z. B. Hegarty, Just, & Morrison, 1988; Williams, Hollan, & Stevens, 1983).

Ein Hauptergebnis aus oben genannten Studien zur intuitiven Physik ist, dass auch Erwachsene oft noch falsche Annahmen über fundamentale physikalische Gesetze treffen, die zum Teil mittelalterlichen Impetus-Theorien sehr ähnlich sind (Kozhevnikov & Hegarty, 2001; McCloskey, 1983b). So scheint der Glaube weit verbreitet, dass einem Objekt, wenn es eine Kraft erfährt, eine Art interne Kraft (Impetus) oder Energievorrat mitgegeben wird, der dafür sorgt, dass es seine Bahn fortsetzt, bis sich dieser Energievorrat langsam aufgebraucht hat. Dies zeigt sich beispielsweise darin, dass ein Drittel bis die Hälfte der Erwachsenen voraussagen, dass ein Ball, der eine gekrümmte Röhre verlässt, sich nach seinem Austritt aus der Röhre auf einer gekrümmten Bahn weiterbewegt (Hubbard, 1996; Huber, 2003; Kaiser, McCloskey, & Proffitt, 1986; McCloskey et al., 1980; McCloskey & Kohl, 1983). Physikalisch korrekt wäre die Vorhersage einer geradlinigen Bahn. Selbst bei Experten bleiben oft erstaunliche Misskonzepte bestehen, die neben einem normativen Wissen existieren können und offenbar nie vollständig überwunden werden.

Obwohl wir im Alltag von unserer physikalischen Umwelt stets die korrekte Rückmeldung erhalten und obwohl wir über die kognitiven Fähigkeiten verfügen würden, gemäss den physikalischen Gesetzen zu urteilen und zu handeln, weichen unsere intuitiven Annahmen manchmal deutlich von den normativen Gesetzen ab. Eine mögliche Erklärung für diese Abweichungen liegt in der Art, wie die physikalischen Probleme üblicherweise formuliert werden und Physikaufgaben präsentiert werden. So werden beispielsweise in der psychologischen Forschung oft Deskriptionen von den Teilnehmern und Teilnehmerinnen als Lösung der Aufgabe verlangt, aber auch die entsprechenden Versuchsmaterialien sind oft von sehr deskriptiver, abstrakter oder symbolischer Natur. Häufig werden Physikaufgaben in einem Papier-und-Bleistift-Format vorgelegt, als schematische Strichzeichnungen, die eine komplexe physikalische Situation auf die vermeintlich relevante Information herunter kürzen. In diesen vereinfachten Darstellungen (z. B. McCloskey et al., 1980) sind die im System relevanten Kräfte weder ersichtlich noch spürbar. Es ist dabei selten klar, wie die Teilnehmerinnen und Teilnehmer die abstrakten Zeichnungen interpretieren und ob für das Verständnis der Situation wichtige Information in den Stimuli fehlt. Einige Studien haben gezeigt, dass das Präsentieren von bewegten Stimuli einen günstigen Einfluss auf das korrekte Erkennen der Möglichkeit oder Unnatür-

lichkeit von physikalischen Ereignissen haben kann (Bozzi, 1958; Frick, Huber, Reips, & Krist, 2005; Kaiser, Proffitt, & Anderson, 1985; Kaiser, Proffitt, Whelan, & Hecht, 1992; Pittenger, 1990).

Die Bewegung von Objekten in der Umwelt stellt somit eine wichtige Information dar, welche nach Ansicht von Runeson und Frykholm (1983) sogar die zugrunde liegenden dynamischen Bedingungen und Gesetzmässigkeiten widerspiegelt. Nach ihrer KSD-Theorie (*kinematics specify dynamics*) können Erwachsene aus der Beobachtung von wahrgenommenen Bewegungen (Kinematik) auf zugrunde liegende Kräfte und Massen (Dynamik) schliessen.

Frühe Kompetenzen

Immer mehr Untersuchungen im Bereich der kognitiven Entwicklungspsychologie (Baillargeon, 1993; Spelke, 1991; Spelke, Breinlinger, Macomber, & Jacobson, 1992) versuchen der Tatsache Rechnung zu tragen, dass in Aufgaben mit zu abstrakten unabhängigen und abhängigen Variablen das Wissen – insbesondere von Kindern – unterschätzt wird. Diese Studien nutzen „implizite“ Methoden, die nicht das sprachlich ausdrückbare Wissen messen sollen, sondern ein Wissen, wie es in der Auseinandersetzung mit der physikalischen Umwelt tagtäglich angewendet wird. Dieses Wissen muss nicht bewusst zugänglich sein, kann aber trotzdem handlungswirksam sein und sich somit in Verhaltensdaten niederschlagen.

So wurde in der entwicklungspsychologischen Forschung beispielsweise mit impliziten Massen, wie Blickpräferenzen oder Blickzeiten gezeigt (Baillargeon, 1986, 1987, 1991; Spelke et al., 1992), dass Kinder schon viel früher als noch von Piaget (1954) angenommen Objekte repräsentieren können, die sie gegenwärtig nicht wahrnehmen, und über diese Rückschlüsse ziehen und Annahmen bilden können.

Auch was komplexere physikalische Gesetzmässigkeiten anbelangt konnten mit impliziten Massen schon bei sehr jungen Kindern ein physikalisches Alltagsverständnis festgestellt werden, welches in einigen Bereichen sehr nahe an den normativen Gesetzen ist. Zum Beispiel haben Spelke und Mitarbeiter (1992) und auch Baillargeon (1986) gezeigt, dass schon 4-monatige Säuglinge auf physikalisch unmögliche Ereignisse (die z. B. die Prinzipien der Kontinuität und Solidität verletzen) mit längerer Blick-Fixationsdauer reagieren als auf physikalisch mögliche (mit diesen Prinzipien konsistente) Ereignisse.

In manchen Bereichen zeigen Kinder also schon sehr früh erstaunliche Kompetenzen, im Sinne eines impliziten intuitiven Wissens über die Gesetzmässigkeiten, welchen physikalische Vorgänge unterliegen. Carey und Spelke (1996) postulieren, dass einige solcher physikalischen Kern-Konzepte sogar angeboren sind. Solche schon in sehr jungem Alter gefundenen Kompetenzen stehen in krassem Gegensatz zu den oben genannten Misskonzepten. Diese Diskrepanzen geben zur Annahme Anlass, dass es nicht *ein* übergreifendes Wissen gibt, sondern dass domänen- und aufgabenspezifische Wissensformen das menschliche Denken und Handeln bestimmen (Carey & Spelke, 1996). Somit können Wissensformen nebeneinander existieren, die voneinander dissoziiert und auf verschiedenem Wege zugänglich sind. Sollen diese verschiedenen Wissensrepräsentationen untersucht werden, so müssen systematisch unterschiedliche Untersuchungsmethoden angewandt werden. Die häufig gefundenen Misskonzepte und Fehleinschätzungen können nicht allein durch grundsätzliche Einschränkungen der kognitiven Fähigkeiten zu Stande gekommen sein, wenn ein Kind in anderen Situationen und Aufgabenstellungen durchaus in der Lage ist, die für das normative Antwortverhalten erforderlichen kognitiven Operationen auszuführen. Daher sollten beispielsweise Aufgabenstellungen, die das verbal ausdrückbare, explizite Wissen untersuchen, kombiniert werden mit nonverbalen Aufgabenstellungen, in denen auf ein implizites, intuitives Wissen zurückgegriffen wird. So wird es möglich, auch Wissen zu untersuchen, welches gerade von jüngeren Kindern noch nicht explizit verbal artikuliert werden kann.

Handlungswissen

Implizite Methoden, welche die Betrachtungsdauer für mögliche und unmögliche präsentierte Ereignisse unterscheiden, scheinen sehr sensitiv zu sein um Wissen über physikalische Gesetzmässigkeiten zu erfassen. Jedoch berücksichtigen diese Methoden nicht, dass unsere Interaktion mit der physikalischen Umwelt häufig eine starke körperliche Komponente aufweist. Unser intuitives Wissen wird von Alltagserfahrung geformt und ist oft ein komplexes Konglomerat aus Wahrnehmung, Kognition und Sensumotorik (Wilkening & Lamsfuss, 1993). Schon Piaget betonte die Wichtigkeit aktiver Handlungen für die Wissensentwicklung des Kindes (Piaget, 1952). Nach seiner Auffassung werden ursprünglich äussere Handlungen interiorisiert zu sensumotorischen Schemata. Piaget hat jedoch – möglicherweise in der Annahme, dass solche Handlungs-Schemata jenseits der sensumotorischen Stufe keine massgebliche Rolle mehr

spielen – in seinen oft sehr abstrakten Aufgaben dieser Tatsache nicht allzu viel Rechnung getragen. Untersuchungen, welche diese motorische Komponente mit einbezogen, haben gezeigt, dass Kinder und Erwachsene, in handlungsnahen Aufgaben öfter normative Strategien zeigen, als in verbalen Befragungen oder abstrakten Urteils-Aufgaben (Black & Schwartz, 1996; Huber, Krist, & Wilkening, 2003; Krist, Fieberg, & Wilkening, 1993; Krist, Loskill, & Schwarz, 1996; Schwartz & Black, 1999; Wilkening, 1980; Wilkening, 1981). Auch können schon 9 Monate alte Kinder auf bewegte Ereignisse zeitlich und räumlich präzise reagieren, indem sie beispielsweise die Bewegungsbahn eines Objektes antizipieren und eine Greifbewegung zu einem Kreuzungspunkt ausführen (von Hofsten, 1980, 1983). Schwartz und Black (1999) bezeichnen dieses motorische Wissen als *knowing by doing* im Gegensatz zu *knowing by description* oder *knowing by viewing*.

Das Untersuchen von solchem Handlungswissen geht auf die Tradition der Ökologischen Psychologie (Gibson, 1962) zurück. Turvey, Solomon und Burton (1989) haben beispielsweise gezeigt, dass die Länge eines Stockes durch alleiniges Hin- und Herdrehen bestimmt werden kann. Durch das Drehen des Stockes spürt man dessen Trägheit, und diese Trägheitsinformation spezifiziert die Länge des Stocks. In diesem Falle beruht die Einschätzung der Länge auf einem direkt wahrnehmbaren Effekt der Handlung. Die ausgeführte Handlung liefert also direkte propriozeptive Information über die im System beteiligten Kräfte. In manchen Situationen kommt es allerdings auch vor, dass Personen spontan eine Handlung simulieren, um distale Probleme zu lösen, über die sie kein adäquates deskriptives Wissen haben (Clement, 1994; Schwartz & Hegarty, 1996). Beispielsweise bei der Frage, in welche Richtung sich jeweils fünf nacheinander angeordnete Zahnräder drehen würden, wenn man das erste im Uhrzeigersinn dreht, nutzen Personen häufig ihre Hände um eine Bewegung zu simulieren, bevor sie deskriptive Regeln anwenden oder wenn ihre Regeln nicht zum Ziel führen (Schwartz & Black, 1996). In diesem Beispiel führt die Handlung an sich nicht zu mehr Information über die Problemsituation, trotzdem verhilft sie aber zum richtigen Urteil. Man könnte aufgrund dieser Ergebnisse argumentieren, dass das Ausführen von Handbewegungen ein Handlungswissen (oder *embodied knowledge*) aktiviert, auf welches wir rein kognitiv keinen Zugriff haben.

Mentale Repräsentationen

Schwartz und Black (1999) haben sich mit der Frage befasst, ob auch schon eine *vorgestellte* oder *simulierte* Handlung ausreicht, um Handlungswissen zu aktivieren. Oder anders ausgedrückt: ermöglicht die mentale Simulation einer Handlung einen Zugang zu einer Wissensquelle, die über abstrakte kognitive Prozesse nicht zugänglich ist? Um ein Ereignis mental zu simulieren, müssten Personen ein mentales Modell einer Situation bilden können, welches alle relevanten Aspekte der Situation verlässlich intern repräsentiert, auch diejenigen, die nicht direkt wahrnehmbar sind. Wie aber kommen wir zu solchen veridikalen und verlässlichen Repräsentationen und auf welcher Information beruhen sie? Bilden wir unsere mentalen Modelle auf der Basis von möglicherweise falschem deskriptiven Wissen und Regeln oder aufgrund von abgespeicherten analogen Bildern, Sequenzen und Erlebnissen? Bevor aber auf solche Fragen näher eingegangen wird, scheint eine Begriffsklärung und theoretische Einordnung angebracht.

Das Wort *Vorstellung* oder auch der englische Ausdruck *Imagination* sind Begriffe, denen in der Alltagssprache mehrere Bedeutungen zukommen und die daher zu Missverständnissen Anlass geben können. So bezeichnet „sich etwas vorzustellen“ bzw. „to imagine“ sowohl, a) etwas schon einmal Gesehenes vor seinem inneren Auge erneut zu betrachten, als auch b) antizipatorische, hypothetische, unübliche oder sogar unmögliche Annahmen zu treffen. Personen mit einer „regen Vorstellung“ werden entsprechend oft als realitätsfremd beschrieben, sie bauen Luftschlösser, sind phantasievoll, erfinderisch und kreativ, Visionäre oder manchmal Illusionäre (für einen Überblick über den Gebrauch des Begriffs *Imagination* in Alltag und Literatur und eine der ersten experimentellen Studien dazu siehe Perky, 1910).

Damit vorgestellte oder simulierte Handlungen beim Problemlösen hilfreich sein könnten, müssen sie die physikalische Realität sehr genau widerspiegeln. Sie müssen also vielmehr eine veridikale innere Abbildung der Realität sein, als eine phantasievolle realitätsfremde Einbildung (siehe oben Punkt b), und sie müssten kontrollierbar und aktiv manipulierbar sein. Der englische Begriff *Imagery* hat sich in der psychologischen Forschung etabliert und soll im Folgenden solche realitätsnahen und willkürlichen mentalen Repräsentationen der Umwelt bezeichnen, und sie von Phantasien abgrenzen.

Eine befriedigende und allgemein akzeptierte Definition von *Imagery* gibt es dato noch nicht. So muss man sich mit Beschreibungen und ausschliessenden Definitionen behelfen. Man ist sich in der Literatur jedoch weitgehend darüber einig, dass *Imagery* intentional ist und grösstenteils bewusst kontrolliert werden kann. Obwohl Vorstellungsbilder manchmal ungewollt auftauchen und es manchmal schwierig ist, sie wieder zu verbannen, kann man Vorstellungen doch meistens hervorrufen, manipulieren und ausblenden. In dieser Hinsicht unterscheidet sich *Imagery* von quasi-perzeptuellen Erfahrungen wie Nachbildern oder Halluzinationen, die nicht bewusst kontrolliert werden können.

Das *Image* in *Imagery* suggeriert, dass eine Art von mentalem Bild involviert ist. Tatsächlich werden Vorstellungen bei den meisten Leuten von visuellen wahrnehmungsähnlichen Erfahrungen begleitet. Nach Kosslyn und Thompson (2003) tritt *visual mental imagery* auf, wenn eine visuelle Repräsentation im Kurzzeit-Gedächtnis präsent ist, aber der Stimulus tatsächlich nicht gesehen wird; visuelles *Imagery* sei dabei begleitet von der Empfindung, das Objekt vor dem geistigen Auge zu sehen („seeing with the mind’s eye“). Die Meinungen gehen aber auseinander, ob es sich bei diesen bildhaften subjektiven Empfindungen um funktionale Prozesse (Kosslyn, 1994) oder nur Epiphänomene handelt (Pylyshyn, 1973). Der Begriff *Image* sollte jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, dass es neben visuellen Vorstellungen – auch wenn diese den Hauptfokus der Forschung darstellten – auch in anderen Modalitäten wahrnehmungsähnliche Erfahrungen gibt. Auch in diesen Bereichen hat sich jedoch der Begriff *Imagery* in der englischen Literatur durchgesetzt, wie beispielsweise bei den Begriffen *auditory imagery*, *motor imagery*, *kinaesthetic imagery*, *haptic imagery*, *olfactory imagery*.

Einerseits gab es immer wieder einige Autoren, insbesondere in der behavioristischen Tradition, die den wissenschaftlichen Status, ja sogar die Existenz von Vorstellungen in Frage stellten, da sie sich jeder direkten empirischen Untersuchung entziehen (für einen historischen Überblick siehe Kosslyn, 1994). Andererseits wurde den Vorstellungen oft eine sehr zentrale Rolle bei kognitiven Leistungen zugesprochen, wie Gedächtnisprozessen, räumlichem Denken oder Problemlösen (Finke, 1985; Kosslyn, 1976a; Perky, 1910), wenn nicht sogar bei *allen* Denkprozessen. Einige Autoren (u. a. Stephen Kosslyn) stellten sich daher der Herausforderung, Vorstellungen zunächst auf dem Wege der Performanz in solchen Denk-Leistungen und später auch mithilfe bildgebender Verfahren zu untersuchen.

Beschreibende oder bildhafte Repräsentationen?

In der psychologischen Literatur wurde in der so genannten *Imagery*-Debatte lange Zeit diskutiert, welches Format von mentalen Repräsentationen Vorstellungsleistungen zu Grunde liegen. Die Debatte wurde insbesondere bestritten von Zenon W. Pylyshyn und Stephen M. Kosslyn, die zwei gegenläufige Positionen einnahmen:

Pylyshyn (1973; 1981) ging davon aus, dass sämtliches Wissen in einem einheitlichen propositionalen Format im menschlichen Gehirn gespeichert ist und unterschiedliche Wissensformen Manifestationen desselben repräsentationalen Systems sind. Diese *Description Theory* geht von präpositionalen, konzeptuellen, ja gar linguistischen („mentalese“ Fodor, 1975) Repräsentationen in einem zentralen System aus, die allen kognitiven Prozessen zugrunde liegen. Folglich basieren mentale Simulationen auf formalem Wissen und Vorstellungsexperimente decken nur auf, was Personen glauben, würden sie sehen, wenn sie eine bestimmte Szene anschauen würden.

Kosslyn (1980; 1994) hingegen favorisiert eine Position, die häufig als *Picture Theory* bezeichnet wird und von spezifischen Systemen ausgeht. Strukturen können demnach, nur in *einem* (z. B. visuellen) Wissenssystem gespeichert sein ohne gleichzeitig Bestandteil eines anderen (z. B. expliziten) Wissens zu sein. Diese *Picture Theory* postuliert bildähnliche (analoge) Repräsentationen, die von einer übergeordneten Instanz („mind’s eye function“) interpretiert werden.

Eine dritte und etwas weniger bekannte, von Thomas (1999) vertretene Theorie, die *Perceptual Activity Theory* (PA), bestreitet die Existenz von inneren Bildern oder Zuständen die mit der Aussenwelt korrespondieren, und sieht Wahrnehmung und Vorstellung als aktive Prozesse ohne Endprodukt. Vorstellung ist nach dieser Theorie eine schemageleitete (Neisser, 1976, 1978) Simulation eines Wahrnehmungsprozesses ohne distale Rückmeldung. Wahrnehmung und Vorstellung sind also nach dieser Ansicht vorwiegend *Top-down*-Prozesse, wobei Thomas *Bottom-up*-Prozesse nicht ausschliesst, er sieht sie nur nicht als notwendige Voraussetzung für die Vorstellung.

Resultate aus mehreren Studien zur mentalen Rotation bei Erwachsenen sprechen für Kosslyns Annahmen, und weisen darauf hin, dass Imagery und Wahrnehmung gemeinsame zugrunde liegende Prozesse nutzen (z. B. Corballis & McLaren, 1982; Jolicoeur & Cavanagh, 1992). Diese Sichtweise wird auch

unterstützt von neuropsychologischen Studien, die mittels bildgebender Verfahren gezeigt haben, dass Hirnareale, die mit mentalem Imagery assoziiert werden, auch während der Wahrnehmung aktiv sind (z. B. Kosslyn, Thompson, Kim, & Alpert, 1995).

Empirische Hinweise deuten auf weitere Analogien zwischen mentalen Modellen und Wahrnehmungsprozessen. Um beispielsweise einschätzen zu können ob zwei Objekte unterschiedlicher Ausrichtung dieselbe Form haben, rotieren Personen typischerweise das eine Objekt mental, bis sie „sehen“ ob es der Form des Zielobjekts entspricht (Shepard & Cooper, 1986). Dabei brauchen sie in der Regel für ihre Antwort länger, je weiter der zu rotierende Winkel ist. Studien mit ambigen Figuren (Mast & Kosslyn, 2002) haben ergeben, dass Vorstellungsbilder neu interpretiert werden können und damit Information liefern, die zuvor nicht zur Verfügung stand. Untersuchungen zu *Image-Scanning* (Kosslyn, 1973) haben ausserdem gezeigt, dass es länger dauert, den Aufmerksamkeitsfokus in der Vorstellung von einem Ort zum anderen zu verlagern, wenn es sich um eine grössere Distanz handelt, als wenn nur eine kleine Distanz „gescannt“ werden muss. Eine Lösung erfordert somit weniger Transformation und weniger Zeit bei kürzeren Distanzen und weniger Zwischenzuständen. Die metrischen Eigenschaften von mentalen Repräsentationen scheinen denjenigen des realen Raumes weitgehend zu entsprechen. Wie Handlungen im realen Raum, durchwandern offenbar auch vorgestellte Bewegungen verschiedene Zwischenpositionen und sind in dem Sinne kontinuierlich, als sie von metrischer Information abhängig sind (Schwartz, 1999).

Deskriptive Repräsentationen hingegen haben eine völlig arbiträre Beziehung zu Raum und Zeit (Schwartz, 1999). Eine Beschreibung eines grossen Objekts kann selber gross oder klein sein; eine langsame Bewegung kann langsam oder schnell beschrieben werden. Folglich müsste, um beweisen zu können, dass Schlussfolgerungen auf vorgestellten Bewegungen beruhen, gezeigt werden, dass die Repräsentationen sensitiv sind für metrische Eigenschaften. So müssten Personen beispielsweise nicht nur fähig sein qualitative Urteile zu fällen, sondern auch quantitative Schlussfolgerungen zu ziehen. Aus diesem Grund eignen sich zur Erforschung von Vorstellungen besonders quantitative Methoden mit möglichst metrischen, intervallskalierten abhängigen Variablen, die Rückschlüsse auf die Eigenschaften mentaler Repräsentationen ermöglichen.

Solche Parallelen zwischen metrischen Eigenschaften mentaler Modelle und der tatsächlichen abgebildeten Umwelt, sind allerdings laut Pylyshyn (1973) kein

ausreichender Beweis dafür, dass Vorstellungen auf analogen Repräsentationen beruhen. Pylyshyn argumentiert, dass auch analoge Repräsentationen aufgrund von deskriptivem Wissen generiert werden könnten, und nur als Epiphänomen zu betrachten sind, als Manifestationen der zugrunde liegenden Deskriptionen.

Um empirisch zu unterscheiden, ob Schlussfolgerungen über ein physikalisches Problem auf Basis von deskriptivem Wissen gezogen werden, oder auf einer analogen Simulation der Vorgänge oder Handlungen beruhen, ist es nötig zu zeigen, dass deskriptives Wissen und analog Simulationen nicht zu denselben Ergebnissen führen würden. In einem Experiment darüber, ob Prisma-induzierte Nacheffekte auf Greifhandlungen auch durch Vorstellung hervorgerufen werden können, liess Finke (1979) Personen glauben, die von ihnen getragene Prisma-brille würde Nacheffekte in die entgegengesetzte Richtung hervorrufen als tatsächlich der Fall war. Finke fand, dass die Vorstellungsbilder die Richtung der Nacheffekte in den Greifhandlungen bestimmten, auch wenn sie der Erwartung der Personen nicht entsprachen.

Diese Studien zeigen, dass Personen in ihren Vorstellungen Vorgänge simulieren, die nicht mit dem übereinstimmen oder gar diametral sind zu dem, was sie über die Phänomene wissen oder was sie in Urteils-Aufgaben zeigen. Solche Befunde unterstützen die Vermutung, dass Vorstellungen nicht auf deskriptivem Wissen beruhen, sondern aufgrund von implizitem Wissen oder in Analogie zur Wahrnehmung oder Handlung gebildet werden.

Mentale Repräsentationen und Sensumotorik

Das eben genannte Beispiel von Vorstellungs-induzierten Nacheffekten auf Greifhandlungen (Finke, 1979) weist zudem darauf hin, dass die Vorstellung nicht als losgelöste kognitive Leistung gesehen werden kann, sondern dass eine enge funktionale Verknüpfung zwischen Vorstellung und Handlung besteht.

Weitere Studien haben gezeigt, dass es mit einer erhöhten Schwierigkeit verbunden ist, Bilder von Händen in physikalisch unmögliche oder unnatürliche Positionen zu rotieren (Cooper & Shepard, 1975; Funk, Brugger & Wilkening, 2005; Parsons, 1987, 1994; Sekiyama, 1982). Ausserdem zeigten Studien mit bildgebenden Verfahren Aktivierung in motorischen Hirnarealen während mentaler Rotation von Körperteilen (z. B. Kosslyn, Digirolamo, Thompson, & Alpert, 1998). Auch zeigten sich positive Zusammenhänge zwischen der Geschwindigkeit einer mentalen Transformation und motorischen Fähigkeiten

(Olivier & de Mendoza, 2000). Wohlschläger und Wohlschläger (1998) fanden heraus, dass sich mentale Rotationen differenziell durch motorische Aktivität beeinflussen lassen. Eine mentale Rotation, die in derselben Richtung und Ebene ausgeführt wurde wie eine manuelle Rotation, konnte schneller ausgeführt werden, als wenn die mentale und manuelle Rotation in entgegengesetzte Richtungen verliefen. In einer ähnlichen Untersuchung fanden Wexler, Kosslyn und Berthoz (1998) kürzere Reaktionszeiten und geringere Fehlerraten, wenn die Richtung von mentaler und manueller Rotation kompatibel waren. Diese Resultate führten zu der Annahme, dass bei mentaler Rotation, neben Prozessen die üblicherweise mit realen oder Schein-Bewegungen assoziiert sind, auch Prozesse der Handlungsplanung involviert sind (Jolicoeur & Cavanagh, 1992; Kosslyn, 1994; Wohlschläger & Wohlschläger, 1998).

Mentale Repräsentationen bei Kindern

Piaget hat die Wichtigkeit von mentalen Repräsentationen der Aussenwelt schon sehr früh erkannt und auch die Notwendigkeit, dieses Gebiet entwicklungspsychologisch zu untersuchen. Ein zentraler Bestandteil von Piagets Stufentheorie besagt, dass eindimensionale Repräsentationen das Hauptcharakteristikum der präoperationalen Stufe sind. Erst etwa ab dem Alter von 7 Jahren seien Kinder demnach fähig, mehrere Dimensionen adäquat zu verarbeiten und zu repräsentieren. Piaget begründet diese Aussage insbesondere auf Ergebnisse aus *Invarianzaufgaben* (oder *Konstanzaufgaben*), bei denen Kinder scheinbar nur auf eine – die jeweils auffälligste – der relevanten Dimensionen zentrieren. Zum Beispiel beachten Vorschulkinder bei der Frage, ob die Menge an Wasser gleich bleibt, wenn man dieses von einem hohen aber dünnen Glas in ein niedriges aber dickes Glas umschüttet, nur die Höhe aber nicht den Durchmesser der Gefässe. In den letzten Jahren zeigten jedoch einige empirische Untersuchungen, in denen in erster Linie funktionale Messmethoden (Anderson, 1982) angewendet wurden, dass die Zentrierungsannahme in dieser Form nicht mehr haltbar ist (Anderson & Cuneo, 1978; Krist et al., 1993; Wilkening, 1978, 1979; Wilkening, 1980; Wilkening, 1981).

Piaget und Inhelder (1971) schlugen eine grundsätzliche Unterscheidung zwischen statischen und kinetischen Vorstellungen vor. Zusammen mit anderen (Bruner, Olver, & Greenfield, 1966) gingen sie davon aus, dass jüngere Kinder nur über statische, reproduktive Repräsentationen verfügen. Das präoperationale Kind sei demnach nicht fähig, Bewegungen zu repräsentieren oder künftige Er-

gebnisse von Bewegungen oder räumlichen Transformationen zu antizipieren. Erst ab einem Alter von etwa 7 bis 8 Jahren sei das Kind fähig auch kinetische Vorstellungen zu nutzen, Bewegungen im Raum zu repräsentieren, oder mentale Bilder zu manipulieren. Zwar beinhalten Bruners und Piagets Theorien die Möglichkeit, dass schon jüngere Kinder auf sensumotorischen Handlungsschemata beruhende Repräsentationen bilden. Auch sind nach Piaget schon Vorschulkinder (auf der präoperationalen Stufe) zum Fiktionsspiel (*pretend play*) fähig, und können eine Puppe mit imaginärem Essen füttern oder „so tun als ob“ eine Tasse mit Tee gefüllt wäre. Trotzdem behaupteten Piaget und Inhelder (Piaget & Inhelder, 1971), dass sich Kinder erst mit 7 bis 8 Jahren Bewegungen und Transformationen vorstellen können, wenn sie das Stadium der konkreten Denktionen erreicht haben.

Piagets Untersuchungen setzten ein beträchtliches Mass an verbalem und abstraktem Verständnis voraus. Meistens wurden in diesen früheren Untersuchungen die Kinder mit Aufgaben konfrontiert, welche allzu oft ihre verbalen oder symbolischen Fähigkeiten überforderten und zu Unterschätzungen ihrer Kompetenzen führten. So begründete Piaget seine theoretischen Annahmen bestenfalls auf Suchaufgaben, meist aber auf Zeichnungen oder Auswahl-Aufgaben (*forced choice*), welche aus methodischer Sicht als problematisch zu sehen sind (Anderson & Wilkening, 1991; Wilkening & Anderson, 1982).

So wurden Piagets Resultate mehrfach kritisiert (z. B. Kosslyn, 1980; Kosslyn et al., 1990; Marmor, 1975), hauptsächlich mit dem Argument, dass sie Performanz mit Kompetenz konfundierten. Auf der Suche nach objektiveren und quantitativeren Messmethoden wendeten neuere entwicklungspsychologische Imagery-Studien eine Aufgabe von Shepard und Kollegen an (Cooper, 1975; Cooper & Shepard, 1973; Shepard & Metzler, 1971). In diesem Paradigma soll entschieden werden, ob eine rotierte Figur genau dieselbe Form hat wie eine aufrechte Figur, oder aber anders (z. B. eine spiegelverkehrte Form derselben) ist. Shepard und Metzler (1971) zeigten, dass die Zeit, die Erwachsene benötigten um diese Unterscheidung zu machen, linear zunahm mit der Winkeldifferenz der beiden Figuren. Studien zur mentalen Rotation bei Kindern (Kosslyn et al., 1990; Marmor, 1975) haben gezeigt, dass schon 5-jährige Kinder Bilder in ihrer Vorstellung rotieren können (diese lineare Zunahme der Reaktionszeiten zeigen), sie dies lediglich mit einer langsameren Geschwindigkeit tun als Erwachsene.

Kinder können aber nicht nur Vorstellungsstrategien nutzen, wenn sie dazu aufgefordert oder gar trainiert werden, sondern sie setzen auch spontan Vor-

stellungen ein, um Probleme zu lösen. In einer Studie zum Wissen von Kindern über die Zusammenhänge von Weg, Zeit und Geschwindigkeit (Wilkening, 1981) zeigten schon 5-jährige Kinder spontan die Strategie, sich rennende Tiere vorzustellen und mit den Augen ihre Bewegung zu simulieren, um zu entscheiden, wie weit sie in einer bestimmten Zeit kommen würden. In einer mentalen Rotationsaufgabe testete Marmor (1977) 4- und 5-Jährige auf Effekte von einem Training, mentale Rotation zu nutzen, auf die Häufigkeit von danach angewendeten Vorstellungsstrategien. Es zeigte sich kein Unterschied zwischen den trainierten und den untrainierten Kindern. Dies weist darauf hin, dass Kinder auch ohne Training spontan eine Vorstellungsstrategie anwenden. Auch Estes (1998) fand keine Unterschiede zwischen 6-Jährigen und Erwachsenen bezüglich spontanem und bewusstem Nutzen von einer mentalen Rotationsstrategie. Kosslyn (1976b) zeigte mit einer Aufgabe, in der er 6-, 9-Jährige und Erwachsene Aussagen über Attribute verschiedener Tiere verifizieren liess, dass 6-Jährige sogar häufiger spontan auf Vorstellungen zurückgriffen, während ältere Kinder und Erwachsene eine Vorstellungsstrategie nur bei expliziter Instruktion nutzten.

Trotz zahlreicher Befunde, die darauf hinweisen, dass bei Erwachsenen motorische Aktivität mit mentalen Transformationen interferieren kann, ist noch sehr wenig über diese Zusammenhänge bei Kindern bekannt. Rieser, Garing, und Young (1994) zeigten, dass Kinder, wenn sie mit verbundenen Augen eine bestimmte Strecke gehen, diese motorische Aktivität die Vorstellung einer räumliche Anordnungen von anderen Perspektiven unterstützen kann. Eine neuere Studie (Frick, Daum, Walser, & Mast, 2005) zeigte, dass die mentalen Rotationen bei 5- und 8-jährigen Kindern von einer manuellen Rotationsbewegung in derselben Ebene beeinflusst wurden, während ältere Kinder und Erwachsene von dieser motorischen Bewegung weitgehend unbeeinflusst blieben. Auch kann die Position der Antworttasten die Reaktionszeiten für die mentale Rotation von Hand-Stimuli differenziell beeinflussen, je nachdem ob sie kompatibel oder inkompatibel zur Stimulus-Ansicht sind (Funk et al., 2005), und dieser Effekt zeigte sich stärker bei Kindergartenkinder als bei Erwachsene.

Diese Resultate legen den Schluss nahe, dass gerade jüngere Kinder visuelle mentale Aktivitäten noch nicht so leicht von konkreten Handlungen entkoppeln können und dass motorische Prozesse möglicherweise noch eine grössere Rolle bei der Generierung oder Kontrolle von mentalen Transformationen spielen. Insofern sprechen diese Ergebnisse zumindest teilweise für eine von Kosslyn (1978; 1980) formulierte Hypothese der repräsentationalen Entwicklung, wonach

im Laufe der kognitiven Entwicklung zunächst sensumotorische Wissensstrukturen (Schemata), später räumlich-bildhafte Vorstellungen und schliesslich verbal-linguistische Repräsentationen ausgebildet werden. Kosslyns Hypothese ist damit vereinbar mit der oben erwähnten Ansicht von Piaget (Piaget, 1952), wonach mentale Operationen ihren Ursprung in interiorisierten Handlungen haben. Ähnlich postulieren auch Bruner, Olver und Greenfeld (1966) eine Entwicklung von handlungsbasierten (*enactive*), über bildhafte (*ikonik*) zu symbolischen (*symbolic*) Repräsentationen. Diese Zusammenhänge wurden jedoch bis anhin nur spärlich aus entwicklungspsychologischer Perspektive untersucht (siehe Krist & Wilkening, 1991), und es ist noch weitgehend unklar, ob, in welchem Alter und unter welchen Bedingungen motorische Prozesse die Vorstellungsleistungen von Kindern beeinflussen.

Forschungsfragen und methodischer Zugang

In der vorliegenden Arbeit wurde untersucht, ob und ab welchem Alter Kinder fähig sind, Aufgaben zu lösen, die dynamische Vorstellungen erfordern, und welche Faktoren förderlich, notwendig oder hinderlich sind, um sich dynamische physikalische Transformationen vorstellen zu können. Insbesondere sollte untersucht werden, welchen Einfluss visuelle und sensumotorische Information auf die Vorstellungsleistung hat.

Dabei wurde folgenden Unter-Fragestellungen nachgegangen:

1. Können sich Kinder und Erwachsene dynamische Ereignisse vorstellen über deren funktionale physikalischen Zusammenhänge sie in abstrakten Aufgaben kein Wissen zeigen?
2. Berücksichtigen Kinder in ihren Vorstellungen mehrere relevante Stimulus-Dimensionen?
3. Werden die Vorstellungen bewegter Ereignisse durch visuelle, haptische und sensumotorische Information über die Bewegung beeinflusst? Zeigen sich dabei Altersunterschiede?
4. Führt eine aktiv ausgeführte Handlung zu einer besseren Vorstellungsleistung als ein bloss passives Beobachten des Effekts dieser Handlung? Wenn ja, ist dieser Effekt altersabhängig?

Um diese Fragen zu beantworten, wurde als Haupt-Paradigma eine Aufgabe gewählt, bei welchem aufgrund früherer Studien davon ausgegangen werden konnte, dass zumindest Erwachsene über kein deskriptives Wissen verfügen, welches ihre Performanz in Vorstellungsaufgaben erklären könnte. Zu diesem Zweck bot sich die Wasserglas-Kipp-Aufgabe von Schwartz und Black (1999) an. Diese Aufgabe besteht darin, ein vorgestelltes Wasserglas so weit zu kippen, bis das vorgestellte Wasser den Glasrand erreichen würde. Es handelt sich also um ein physikalisch-geometrisches Problem, das nicht in der Schule behandelt wird und über das im Allgemeinen kaum in abstrakter Art und Weise nachgedacht wird. Trotzdem ist es ein alltägliches Problem, mit welchem auch Kinder oft konfrontiert werden.

Frühere Ergebnisse mit Erwachsenen sprechen dafür, dass diese Aufgabe nicht aufgrund von formalem Wissen über die geometrischen Zusammenhänge gelöst wird, sondern mithilfe mentaler Simulationen (Schwartz, 1999; Schwartz & Black, 1999). Dabei hat sich gezeigt, dass von Erwachsenen auch dynamische Aspekte der Aufgabe (Gravitationskraft, Trägheit, Viskosität) berücksichtigt werden. So ergaben sich beispielsweise andere Resultate, wenn die Aufgabe liegend, mit beschwerten Gläsern oder mit vorgestellter Molasse statt Wasser gelöst wurde. Dies ist ein Hinweis darauf, dass die Aufgabe im Allgemeinen von Erwachsenen mithilfe von *dynamischen* Vorstellungen der ganzen Bewegung gelöst wird, und nicht nur die Endposition oder der Endwinkel des Glases produziert wird.

Black und Schwartz (1996) legten diese Wasserglas-Kipp-Aufgabe 3- bis 12-jährigen Kindern vor. Das physische Drehen eines Glases erleichterte auch bei Kindern die Voraussage, an welchem Punkt Wasser aus dem Glas ausfließen würde. Allerdings waren die Resultate der Kinder nicht ganz einheitlich, und die interessanteren dynamischen Variationen wurden mit Kindern nicht durchgeführt.

Die Wasserglas-Kipp-Aufgabe eignet sich in einigen Aspekten sehr gut, um die oben genannten Fragen zu adressieren. Ähnlich wie bei der klassischen *Imagery*-Aufgabe, der mentalen Rotations-Aufgabe, ist die abhängige Variable nonverbal. Somit ist es möglich, auch schon Kinder im Vorschulalter zu untersuchen. Sowohl das Verständnis der Instruktion als auch die Messung erfordern keine speziellen verbalen Fähigkeiten.

Die Aufgabe erlaubt zudem verschiedene Variationen. Im Gegensatz zur mentalen Rotation kann die Aufgabe auch ohne visuelle Kontrolle durchgeführt werden. Auch haptische und sensumotorische Information lässt sich leicht manipulieren, und im Gegensatz zur klassischen mentalen Rotations-Aufgabe können dynamische Aspekte experimentell variiert werden.

Es handelt sich um eine Aufgabe mit einer metrischen, intervallskalierten abhängigen Variablen, die Rückschlüsse auf die Eigenschaften der mentalen Repräsentationen ermöglicht. Die Schätzungen sind dabei quantitativer Art und beinhalten daher sehr viel mehr Information als Auswahl-Aufgaben. Die Aufgabe kann zudem in einem funktionalen Messdesign (siehe Experiment 1b) präsentiert werden, was Aussagen über einzelne Kinder und Erwachsene, und personenspezifische Vergleiche zwischen verschiedenen Aufgaben ermöglicht.

Diese alltagsnahe Vorstellungsaufgabe wurde mit abstrakteren entwicklungspsychologischen Methoden, wie der klassischen *Water-Level*-Aufgabe oder einer Auswahl-Aufgabe, verglichen. Damit sollte untersucht werden, ob die häufig gefundenen Misskonzepte und Fehleinschätzungen bezüglich der Horizontalität der Wasseroberfläche durch grundsätzliche Einschränkungen der kognitiven Fähigkeiten zu Stande gekommen sind, oder vielmehr Performanz-Probleme sind.

Überblick über die Experimente

Es wurden vier Experimente durchgeführt. In diesem Kapitel werden diese vier Experimente kurz dargestellt. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Experimente und Experimentalbedingungen, mit Angaben zu Grösse und Alter der jeweiligen Stichproben. In den folgenden Kapiteln werden die Experimente ausführlich beschreiben. Es finden sich jeweils spezifischere theoretische und methodische Überlegungen direkt vor der Darstellung der Experimente 1 bis 4.

In Experiment 1 wurden die Ergebnisse von Black und Schwartz (1996) repliziert und untersucht, ob sich auch bei Kindern eine Dissoziation zeigt zwischen der Performanz in der Handlungs-Aufgabe und einer Auswahl-Aufgabe. Dieses Experiment sollte Aufschluss darüber geben, ob Kinder und Erwachsene mithilfe einer mentalen Simulation eine der Situation angepasste Handlung produzieren können, obwohl sie über kein normatives deskriptives Wissen verfügen. Zudem sollte untersucht werden, inwiefern das von Piaget postulierte Konzept der *Horizontalitätskonstanz*, welches üblicherweise mithilfe der *Water-Level*-Aufgabe attestiert wird, in Zusammenhang steht mit der Leistung, sich das Wasser in der Handlungs-Aufgabe horizontal vorzustellen.

In Experiment 2 wurden die Leistungen in der Handlungs-Aufgabe unter verschiedenen Bedingungen verglichen. Erstens wurde die Aufgabe neutral durchgeführt, zweitens wurden die dynamischen Eigenschaften der Kippbewegung durch ein zusätzliches Drehmoment verändert, indem ein Schwungrad mit der Drehbewegung gekoppelt wurde. Ziel dieser Manipulation war es die Dynamik der Bewegung unnatürlich zu machen, sodass nicht oder weniger leicht auf Alltagserfahrungen zurückgegriffen werden konnte. Es sollte damit untersucht werden, ob Kinder in ihren Vorstellungen auch schon dynamische Aspekte miteinbeziehen und schlechtere Leistungen zeigen, wenn die Dynamik ungewohnt ist und sie weniger auf bekannte Handlungsschemata zurückgreifen können. Verglichen wurden diese beiden Aufgabe mit einer dritten Aufgabe, die eine abstraktere Schätzung verlangte und bei welcher keine Bewegung stattfand. Im Gegensatz zu der Auswahl-Aufgabe in Experiment 1 nutzte diese Urteils-Aufgabe aber eine nonverbale und intervallskalierte abhängige Variable.

Experiment 3 sollte Aufschluss darüber geben, inwiefern visuelle und haptische Information wichtig ist für eine Repräsentation der Wasseroberfläche und ein akkurates Ausführen der Handlung. Die Aufgaben waren dieselben wie in Experiment 2, dabei wurde jedoch mithilfe von experimentellen Manipulationen

untersucht, ob sich die Performanz verschlechtert, wenn man systematisch visuelle beziehungsweise haptische Information eliminiert. Dies wurde operationalisiert indem ein Vorhang die Sicht versperrte, bzw. das Glas nur an einem Henkel gedreht wurde.

Experiment 4 befasste sich mit der Frage, ob es sensumotorische oder nur visuelle Aspekte sind, welche die Performanz in Handlungs-Aufgaben verbessern. Es wurde getestet, ob eine aktiv ausgeführte Handlung, gegenüber einer bloss passiven Beobachtung des Effekts dieser Handlung, zu einer besseren Vorstellungsleistung führt. In diesem Experiment wurde daher die Kippbewegung nicht von den Teilnehmenden selber ausgeführt, sondern per Fernbedienung mit Hilfe eines Motors. Dabei war (im Gegensatz zur Urteils-Aufgabe in Experiment 2 und 3) die visuelle Information über die Bewegung zugänglich, aber die Drehbewegung wurde (im Unterschied zur Handlungs-Aufgabe in Experiment 2 und 3) dabei nicht aktiv ausgeführt. In einen zweiten Teil wurde dieselbe Aufgabe auch noch blind durchgeführt.

Tabelle 1

Übersicht über die Experimente, Experimental-Bedingungen und Altersgruppen.

	Innersubjekt-Faktoren	Zwischensubjekt-Faktoren	Altersgruppen		N
			Ø	Bereich	
Exp 1	a) <i>Water-Level</i> -Aufgabe	<i>Reihenfolge (2):</i>	5;7	4;6 - 6;11	20
		Kippen →	7;9	7;2 - 8;7	20
	b) Wasserglas-Kipp-Aufgabe	<i>Water-Level</i>	9;7	8;8 - 10;11	20
		→ Kippen	25;4	20;2 - 46;11	20
Exp 2	a) Handlungs-Aufgabe neutral		5;10	5;2 - 6;6	16
			7;3	6;10 - 7;9	16
	b) Handlungs-Aufgabe mit Schwungrad		9;0	8;7 - 9;5	16
	c) Urteils-Aufgabe		24;11	18;0 - 31;3	16
Exp 3	a) Handlungs-Aufgabe neutral	<i>Sicht (2):</i> visuell, blind	7;4	6;10 - 8;2	48
	b) Handlungs-Aufgabe mit Schwungrad	<i>Henkel (2):</i> am Henkel fassen			
	c) Urteils-Aufgabe	direkt am Glas fassen	25;11	18;0 - 57;3	48
Exp 4	a) Aufgabe mit Motor, visuell		5;11	5;2 - 6;9	16
			7;5	6;11 - 8;2	16
	b) Aufgabe mit Motor, blind		9;2	8;7 - 9;10	16
			29;0	19;10 - 38;9	16
Total					304

Experiment 1

Kurzer Überblick

Studien zu Piagets *Water-Level*-Aufgabe zur Untersuchung der Horizontalen haben gezeigt, dass Kinder und oft auch Erwachsene keine Einsicht in das Prinzip der Horizontalität von Wasseroberflächen haben (Piaget & Inhelder, 1975). Eine alltagsnähere Aufgabe von Schwartz und Black (1999) besteht darin, ein Glas mit darin vorgestelltem Wasser so weit zu kippen, bis das imaginäre Wasser den Glasrand erreichen würde. Ziel dieser Untersuchung war, die Ergebnisse von Schwartz und Black zu replizieren und zu testen, ob schon Kinder die Wasserglas-Kipp-Aufgabe lösen können, auch wenn sie nicht über ein normatives Regelwissen verfügen oder laut Piaget noch keine Einsicht in das Prinzip der Horizontalitätskonstanz haben dürften.

In der *Water-Level*-Aufgabe wurden 8 Diagramme, eines in 45°-Schritten gedrehten Glases, präsentiert. Vier- bis zehnjährige Kinder und Erwachsene sollten die Wasseroberfläche einzeichnen. Die Wasserglas-Kipp-Aufgabe bestand darin, ein leeres Glas mit darin vorgestelltem Wasser so weit zu drehen, dass nur ein kleines Tröpfchen über den Rand fließen würde. Glasdurchmesser und vorzustellende Füllhöhe wurden dreistufig variiert. Nach dieser Handlungs-Aufgabe sollten die Kinder und Erwachsenen in einer Auswahl-Aufgabe urteilen, welches von zwei Gläsern man weiter kippen könnte.

Die Ergebnisse der *Water-Level*-Aufgabe replizierten die in früheren Studien berichteten Alters- und Geschlechtseffekte. In der Wasserglas-Kipp-Aufgabe jedoch zeigten sich keine Geschlechtseffekte. Die in dieser Handlungs-Aufgabe produzierten Winkel zeigten altersabhängige Unterschiede in der Abweichung von der normativen Lösung und in ihrer Konsistenz – alle Altersgruppen berücksichtigten aber im Mittel beide variierten Dimensionen. Schon 5-jährige Kinder konnten die Kippbewegung simulieren und berücksichtigten im Mittel dabei auch den Durchmesser, obwohl sie in einer Auswahl-Aufgabe kein normatives Regelwissen über dessen Einfluss zeigten. Zwischen den Leistungen in der *Water-Level*-Aufgabe und der Handlungs-Aufgabe konnte, abgesehen vom Alter, kein signifikanter Zusammenhang festgestellt werden und es zeigten sich keine Reihenfolgeeffekte. Die Resultate weisen darauf hin, dass diese beiden Aufgaben weitgehend unabhängig sind und verschiedene Aspekte des Verständnisses von Horizontalität messen.

Einleitung

Horizontalität von Wasseroberflächen

Zahlreiche Studien zur so genannten *Water-Level-Aufgabe* von Piaget (Piaget & Inhelder, 1975) haben gezeigt, dass Kinder und sogar Erwachsene oft Schwierigkeiten haben, zu erkennen, dass die Oberfläche von ruhigem Wasser immer horizontal ist. Piaget zeigte dies anhand von Aufgaben, bei denen in ein Wasserglas, welches schematisch auf einem Blatt Papier dargestellt war, die Wasseroberfläche eingezeichnet werden sollte (siehe Abbildung 1). Die korrekte Lösung dieser Aufgabe verlangt die Erkenntnis, dass die Oberfläche des Wassers parallel zur Erdoberfläche bleiben muss, ungeachtet der Orientierung des Glases.

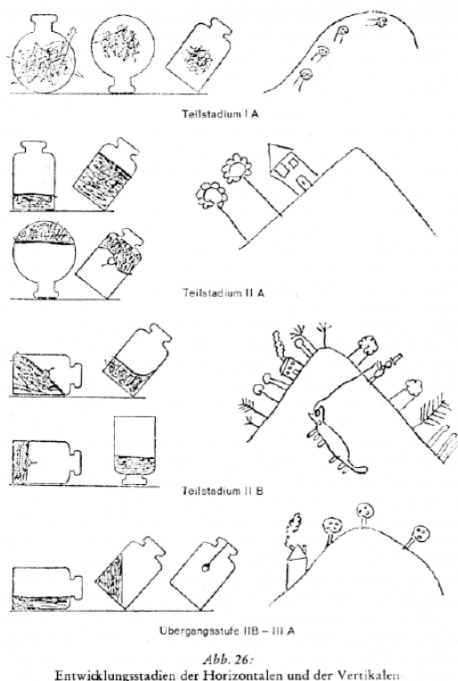


Abb. 26:
Entwicklungsstadien der Horizontalen und der Vertikalen

Abbildung 1. Entwicklungsstadien der Horizontalen und der Vertikalen nach Piaget & Inhelder (1975).

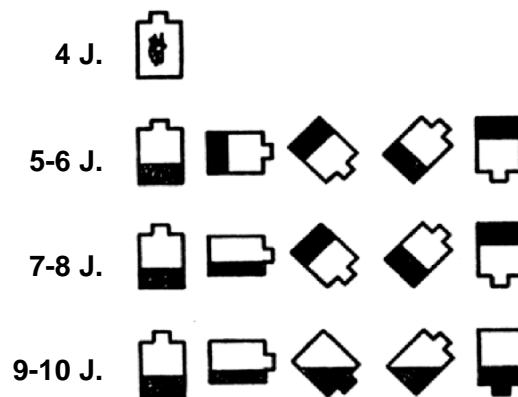


Abbildung 2. Alterstypisches Antwortverhalten in der *Water-Level-Aufgabe* (aus Foorman, 1981).

Piaget und Inhelder (1975) fanden für verschiedene Altersstufen (5 bis 8 Jahre) typische Fehler. Durchschnittlich zwischen 7 und 8 Jahren, wenn die konkreten Operationen in Erscheinung treten, beginnt laut den Autoren das eigentliche Stadium III. Ab diesem Alter findet man korrekte horizontale Lösungen, bei gewissen besonders günstigen Stellungen des Gefäßes (z. B. 0° , 90° , 180° ,...);

oder Häuser werden ab diesem Übergangsstadium korrekt vertikal gezeichnet, aber der Schornstein noch rechtwinklig zum Dach. Ab einem Alter von etwa 9 bis 10 Jahren findet man, nach Piaget und Inhelder, die tatsächliche, allgemeine Eroberung der Begriffe Horizontalität und Vertikalität in allen Situationen.

Entgegen den ursprünglichen Annahmen von Piaget und Inhelder (1975) zeigten Folgeuntersuchungen, dass selbst bei Erwachsenen noch sehr häufig Fehler auftreten. Die Fehlerrate der Erwachsenen ist dabei überraschend hoch. In einer Untersuchung mit College-Studenten zeigten sich Fehlerraten von 40% (McAfee & Proffitt, 1991). Personen, die durch ihren Beruf sehr viel Erfahrung und Übung mit gefüllten Gläsern haben, wie Kellnerinnen und Kellner, zeigten sogar noch schlechtere Resultate als andere (Hecht & Proffitt, 1995). Die Gründe dieser Fehler sind bis heute, nach über Hundert Studien zu diesem Thema mit zahlreichen Variationen der Form der Gläser, der Kontexte und Präsentationsarten nicht klar (für Überblicksarbeiten siehe Kalichman, 1988; Liben, 1991a, 1991b; Pascual-Leone & Morra, 1991; Vasta, Belongia, & Ribble, 1994).

Nach Piagets ursprünglicher auf kognitive Faktoren ausgerichteten Theorie sind Kinder nicht in der Lage, die invariante horizontale Position einer Flüssigkeit vorauszusagen, da sie noch kein Konzept des Euklidischen Raums haben (Piaget & Inhelder, 1975). Sie haben folglich noch kein konzeptuelles System ausgebildet, das horizontale und vertikale Koordinaten integriert und als Bezugssystem dient, in welchem die physikalische Welt wahrgenommen und repräsentiert werden kann.

Eine besondere Schwierigkeit der klassischen *Water-Level*-Aufgabe ist, dass sie wie die meisten Papier-und-Bleistift Aufgaben horizontal auf dem Tisch gelöst werden. Häufig ist dies kein Problem; bei der *Water-Level*-Aufgabe kann es aber eine zusätzliche Schwierigkeit darstellen, denn es handelt sich nicht um ein abgeschlossenes System, das man vollständig auf dem Papier darstellt, sondern es wird nur ein Teil auf dem Papier dargestellt – das Glas – und dieses soll aber in Bezug auf die absolute Horizontale (Erdoberfläche) bzw. auf die Gravitationskraft beurteilt werden. Untersuchungen mit anderen physikalischen Aufgaben (z. B. Schwartz, 1999; Schwartz & Black, 1999) haben gezeigt, dass Erwachsene die Stimuli nicht von der Gravitationsrichtung losgelöst betrachten, sondern sensitiv für die wahrgenommene Gravitationsrichtung sind. Oft wird jedoch in der *Water-Level*-Aufgabe weder die Horizontale explizit in der Aufgabenstellung dargestellt, noch kann die tatsächliche Gravitationskraft direkt als Bezugsrahmen genommen werden, da in der abgebildeten Aufgabe die Gravitationsrichtung

horizontal (sagittal) in der Tischebene verlaufen müsste. Um die Aufgabe zu lösen, müssten die Kinder also zusätzlich eine mentale Rotation vornehmen, sodass die in der Abbildung implizierte und die tatsächliche Gravitationsrichtung übereinstimmen. Gerade diese Fähigkeit der kinematischen mentalen Transformation hat aber Piaget den jüngeren Kindern abgesprochen.

In einer der *Water-Level*-Aufgabe sehr ähnlichen Aufgabe ohne physikalischen Aufgabenkontext, in welcher Erwachsene gerade Linien in gekippten Rechtecken einzeichnen sollten, waren jedoch kaum Fehler zu beobachten (Liben & Golbeck, 1980). Liben (1991a) argumentiert daher, dass das räumliche Konzept von Horizontalität und das Verständnis von physikalischen Gesetzmässigkeiten auseinander gehalten werden sollten. Auch fehlende konsistente Zusammenhänge zwischen explizitem Wissen und der Performanz in der *Water-Level*-Aufgabe weisen darauf hin, dass formales Wissen über das Problem keine wichtige Variable ist für das Verständnis der Fehler (Hecht & Proffitt, 1995; McAfee & Proffitt, 1991; Pascual-Leone & Morra, 1991). Dies weist darauf hin, dass verbales, explizites Wissen wenig Einfluss hat auf physikalisches, räumliches Problemlöseverhalten (Pulos, 1997).

Neuere Ansätze versuchen daher den Effekt mit mehr perzeptuellen und *Bottom-up*-Mechanismen zu erklären. So wird beispielsweise argumentiert, dass die Fehler hauptsächlich durch die Referenz auf ein falsches Bezugssystem zu Stande kommen (z. B. McAfee & Proffitt, 1991); Feldabhängigkeit (Lohaus, Kessler, Thomas, & Gediga, 1994); durch graphische Fähigkeiten und die graphische Tendenz, die Wasserlinie (gemäss Gestalt-Prinzipien) rechtwinklig zum Glasrand einzuzeichnen (z. B. Liben, 1991a; Sommerville & Cox, 1988); oder aufgrund interindividueller Unterschiede in der visuellen Verarbeitung und inhibitorischen Interaktion von Orientierungsdetektoren (Sholl & Liben, 1995). Obwohl sich die grosse Mehrheit der Studien zur Wasser-Level-Aufgabe mit solchen perzeptuellen Faktoren befasste, lassen sich damit jedoch nicht alle Fehler erklären. Zum Beispiel zeichnen Kinder häufig in einem um 45 Grad gedrehten Glas die Wasserlinie vertikal ein.

Es lässt sich daher vielmehr vermuten, dass die Kinder aufgrund von geringerer mentaler Verarbeitungskapazität (Foorman, 1981; Pascual-Leone & Morra, 1991) von der Aufgabenstellung überfordert sind und versuchen, sich an das im vorhergehenden Versuchsdurchgang Eingezeichnete zu erinnern. Als weitere Erklärung wurde angebracht, dass Kinder möglicherweise von einem überlernten Schema geleitet werden, da im Alltag Flüssigkeiten meistens am

Boden von Gefäßen gesehen werden. Aufgrund der letztgenannten Erklärung stellt sich die Frage, ob sich dieses überlernte Schema mit der Aktivierung von anderen gelernten Schemata überwinden lässt, etwa durch eine familiäre Handlung wie Wasser aus einem Glas auszuleeren.

Die Wasserglas-Kipp-Aufgabe

In dieser Studie sollte daher untersucht werden, ob in einer handlungs- und alltagsnahen Aufgabe, bei welcher die Gläser selbst gedreht werden können, ein besseres Verständnis des Horizontalitätsprinzips gezeigt wird. Zu diesem Zweck wurde die statische *Water-Level*-Aufgabe mit einer dynamischen Handlungs-Aufgabe von Schwartz und Black (Black & Schwartz, 1996; 1999) verglichen.

Die Wasserglas-Kipp-Aufgabe setzt voraus, dass der Wasserspiegel im Glas vorgestellt und das Glas solange gedreht wird, bis dieser vorgestellte Wasserspiegel den Glasrand erreicht. Falls also eine grundsätzliche Einschränkung bestehen sollte, sich den Wasserspiegel horizontal vorzustellen, dürfte diese Aufgabe von jüngeren Kindern nicht gelöst werden können. Aufgrund von Ergebnissen von Black und Schwartz (1996) konnte erwartet werden, dass 5 bis 10 Jahre alte Kinder in dieser intuitiv lösbaren Handlungs-Aufgabe durchaus eine Horizontalitätskonstanz zeigen könnten, welche ihnen von Piaget abgesprochen wurde.

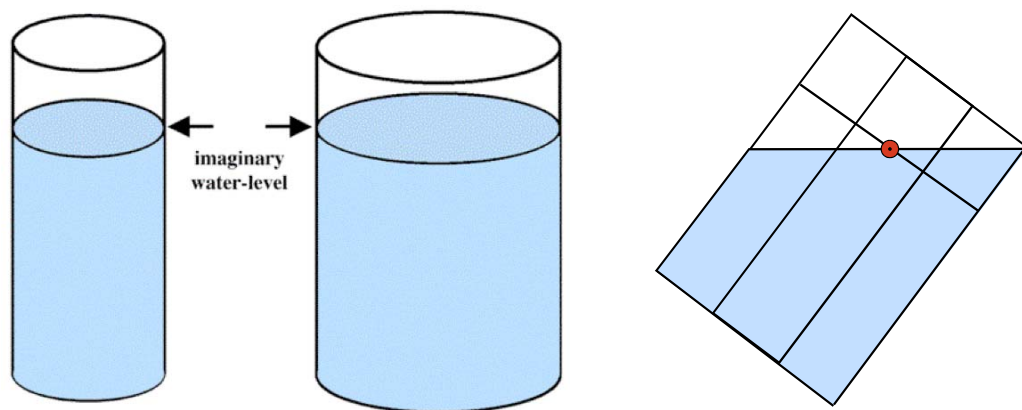


Abbildung 3. Beispiel zweier Stimuli aus Schwartz und Blacks (1999) Untersuchung. Wenn man beide gleich hoch mit Wasser füllen würde, könnte man das dünne Glas weiter Drehen bis das Wasser zum Rand kommt (Lösung rechts: wenn man beide Gläser übereinander legt und kippt, gelangt beim dickeren das Wasser schon bei einem kleineren Kippwinkel zum Rand).

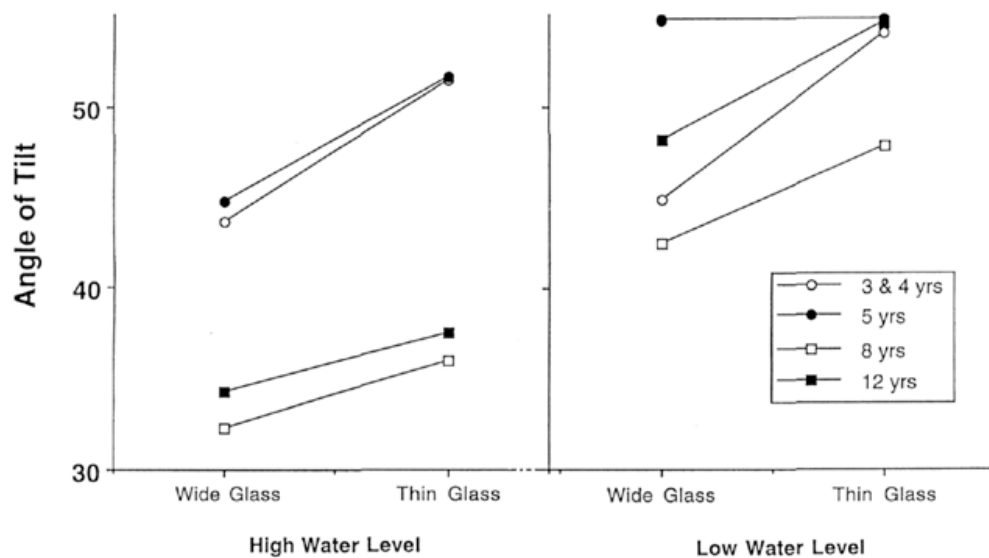


Abbildung 4. Resultate von Kindern verschiedenen Alters (Black & Schwartz, 1996). Schon die kleinste Altersgruppe kippte das dünne Glas weiter als das breite, die Füllhöhe wurde jedoch nur von den älteren beiden Gruppen signifikant differenziert.

Black und Schwartz (1996) ließen 3- bis 12-jährige Kinder Gläser drehen, welche in Durchmesser und Füllhöhe je zweistufig variierten, bis das darin vorgestellte Wasser zum Glasrand kommen würde. Es ergab sich, dass fast alle Kinder (ausser die 5-Jährigen bei niedriger Füllhöhe, siehe Abbildung 4) das schmale Glas korrekt weiter drehen als das breite. Die Füllhöhe differenzierten aber nur die älteren beiden Gruppen. Dieses Ergebnis ist etwas kontraintuitiv, denn der Wasserstand scheint eigentlich der „einfachere“ Faktor zu sein, bezüglich dessen – im Gegensatz zum Durchmesser – die meisten Kinder über ein explizites normatives Wissen verfügen. Die Autoren gehen darauf nicht näher ein. Aus den Resultaten, dass zumindest die etwas älteren Kinder beide Faktoren korrekt berücksichtigten, obwohl sie kein explizites normatives Wissen über den Effekt des Durchmessers zu haben schienen, schlossen Black und Schwartz, dass die Kinder ab einem Alter von ca. 8 Jahren die Aufgabe mithilfe von dynamischen Vorstellung lösten.

In der vorliegenden Untersuchung sollten nun die Ergebnisse von Black und Schwartz (1996) repliziert werden. Zudem wurden die Ergebnisse mit den Resultaten aus der *Water-Level*-Aufgabe in Zusammenhang gestellt und untersucht, ob schon Kinder die Handlungs-Aufgabe lösen können, welche laut Piaget

noch keine Einsicht in das Prinzip der Horizontalitätskonstanz haben dürften. Dazu wurden beide Aufgaben denselben Kindern vorgelegt. Zudem sollte eine Auswahl-Aufgabe Aufschluss darüber geben, welches formale und explizierbare Wissen die Kinder und Erwachsenen über die Problemsituation haben.

Im Unterschied zu Black und Schwartz (1996) wurde im vorliegenden Experiment ein funktionelles Messdesign (für Details siehe Anderson, 1982) gewählt mit jeweils dreistufiger Manipulation der beiden Stimulusdimensionen Durchmesser und Füllhöhe des Glases. Aufgrund der Effekte dieser Manipulationen der zwei interessierenden Dimensionen auf die abhängige Variable (Kippwinkel) wurde geschlossen, ob die jeweiligen Dimensionen berücksichtigt wurden und wie die Information über die beiden Stimulusdimensionen in die Schätzungen integriert wurden. Der Logik der Versuche von Schwartz und Black folgend (Black & Schwartz, 1996; Schwartz & Black, 1999) wurde das korrekte Beachten des Faktors Durchmesser als Hinweis auf eine Vorstellungsstrategie interpretiert.

Experiment 1a (*Water-Level-Aufgabe*)

Methode

Teilnehmerinnen und Teilnehmer

An dem Versuch nahmen 60 Kinder im Alter von 4 Jahren und 6 Monaten (4;6) bis 10 Jahren und 11 Monaten (10;11) und 20 Erwachsene (Altersbereich = 20;2 – 46;11, mittleres Alter = 25,4) teil. Die Kinder wurden aufgeteilt in drei Altersgruppen, die der Einfachheit halber im Folgenden mit „5-Jährige“ (Altersbereich = 4;6 – 6;11, mittleres Alter = 5;7), „7-Jährige“ (Altersbereich = 7;2 – 8;7, mittleres Alter = 7;9), und „9-Jährige“ (Altersbereich = 8;8 – 10;11, mittleres Alter = 9;7) bezeichnet werden. Jede Altersgruppe umfasste 10 weibliche Versuchsteilnehmerinnen und 10 männliche Versuchsteilnehmer. Die Kinder wurden entweder in der Schule, oder in einem Versuchsraum am Psychologischen Institut der Universität Zürich untersucht.

Versuchsmaterial

Es wurden 8 Diagramme eines in 45°-Schritten gedrehten Glases gezeigt (Abbildung 5). Für die Instruktion wurde ein reales Glas (65 mm Durchmesser x 120 mm Höhe; siehe Experiment 1b Abbildung 7) zur Hälfte mit Wasser gefüllt.

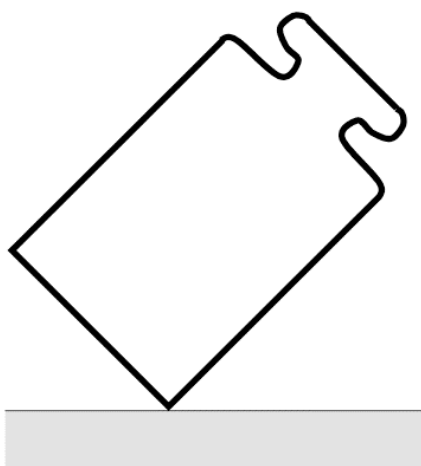


Abbildung 5. Versuchsmaterial *Water-Level-Aufgabe*.
Beispiel eines um 45° gekippten Glases.

Im Unterschied zu Piaget und vielen Replikationen wurden diese Diagramme vertikal an einer Wand präsentiert, um die natürliche Wirkungsrichtung der Gravitation zu gewährleisten. Als ein weiterer Hinweis auf die Orientierungen des Glases war im Bild eine graue Fläche dargestellt mit horizontaler Kante. Das Glas wurde in der Instruktion als „auf einem Tisch“ stehend bezeichnet. Somit hatten die Kinder und Erwachsenen die Möglichkeit eine im Bild inhärente Referenz zu nutzen. Die Versuchsteilnehmerinnen und Teilnehmer standen oder saßen dabei so vor den Diagrammen, dass die Zeichnung etwa auf Augenhöhe war.

Versuchsablauf

Als erstes wurde immer ein aufrechtes Glas präsentiert (0°). Die Versuchsleiterin hielt ein reales Glas neben die Zeichnung, welches bis etwa zur Hälfte mit Wasser gefüllt war. Das so gefüllte Glas wurde niemals vor dem Kind gekippt sondern von der Versuchsleiterin möglichst ruhig und senkrecht gehalten. Die Versuchsleiterin erklärte anhand des realen Glases die Zeichnung: dass diese ein Glas mit einem Deckel darstellte, welches auf einem Tisch stand. Im Diagramm sollte mit einem Stift die Wasseroberfläche eingezeichnet werden, so wie es aussehen würde, wenn das Glas ca. halb voll wäre. Wenn die Teilnehmerinnen oder Teilnehmer eine Wellenlinie oder mehrere Striche einzeichneten, so wurden sie darauf hingewiesen, dass sie nur einen einzigen Strich zeichnen sollten, so wie man beim Referenzglas ja nur eine Wasseroberfläche sah. Danach sollte eingezeichnet werden, auf welcher Seite des Strichs sich das Wasser befand. Nach dem 0° -Trial folgten die restlichen 7 Trials in zufälliger Reihenfolge, wobei das volle Glas von der Versuchsleiterin auf ein nahes Regal gestellt wurde und mit einem identischen leeren Glas jeweils die Ausrichtung des abgebildeten Glases verdeutlicht wurde.

Resultate & Interpretation

Datenaufbereitung

In der *Water-Level*-Aufgabe wurde jeweils eine Gerade durch die zwei Punkte gelegt, wo die gezeichnete Linie den Glasrand schnitt. Dann wurden die Winkel dieser Linie in Bezug auf die Gravitationsrichtung im Bild gemessen.

Kategorisierung

Die einzelnen Trials wurden danach eingeteilt, ob die Wasseroberflächen horizontal waren oder orthogonal zum Glasrand eingezeichnet wurden. Nach der horizontalen, physikalisch korrekten Strategie, würde die Wasseroberfläche also unabhängig von der Ausrichtung des Glases horizontal eingezeichnet werden, nach einer orthogonalen Strategie würde die Wasseroberfläche rechtwinklig zum Glas eingezeichnet und das Wasser also am Boden oder am Deckel des Glases bleiben. Als kritische Abweichung wurden 6° gewählt. Wenn eine Linie um einen Betrag von mehr als 6° von der horizontalen, beziehungsweise von der zum Glasrand orthogonalen Linie abwich, wurde sie als „inkonsistent“ eingestuft. Tabelle 2 zeigt die Resultate dieser Kategorisierung für die vier Altersgruppen, aufgeteilt danach, ob es sich um die vier „geraden“ Gläser handelte, die in 90° Schritten gedreht präsentiert waren, oder um die „schrägen“ Gläser, die in den Winkeln 45° , 135° , 225° und 315° präsentiert wurden.

Tabelle 2

Kategorisierung der eingezeichneten Wasserlinien für die vier Altersgruppen (n=20) und jeweils vier „gerade“ und vier „schräge“ Glasausrichtungen.

	“gerade” Gläser			“schräge” Gläser		
	$0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$			$45^\circ, 135^\circ, 225^\circ, 315^\circ$		
	<i>hori- zontal</i>	<i>ortho- gonal</i>	<i>inkon- sistent</i>	<i>hori- zontal</i>	<i>ortho- gonal</i>	<i>inkon- sistent</i>
5-Jährige	51	14	15	9	31	40
7-Jährige	65	12	3	20	26	34
9-Jährige	76	4		36	5	39
Erwachsene	80			71		9

Tabelle 2 ist zu entnehmen, dass die horizontalen Strategien bei allen Gläsern mit dem Alter stetig zunahmen. Inkonsistente Strategien zeigten sich bei den schrägen Gläsern bei allen Kindern etwa gleich häufig, nur bei den Erwachsenen zeigte sich ein markanter Rückgang. Bei den geraden Gläsern zeigten die Er-

wachsenen sogar zu 100% konsistent horizontale Strategien (80 horizontale Linien = 20 Erwachsene mal 4 Gläser). Insgesamt wichen nur 9 Linien der insgesamt 160 von Erwachsenen gezeigten Linien markant von der horizontalen ab (5,6%). Diese 9 Linien wurden von 4 Frauen und 2 Männern produziert. Die orthogonalen Boden- und Deckelstrategien zeigten sich nur bei Kindern und nahmen mit dem Alter ab, wobei vor allem ein starker Rückgang dieser Strategien zwischen einem Alter von 7 und 9 Jahren zu verzeichnen war. Bei den 5- und 7-Jährigen kamen diese rechtwinkligen Strategien bei schrägen Gläsern etwa doppelt so oft vor, wie bei geraden Gläsern.

Absolute Abweichung

Um einen einzelnen Kennwert als Gütemass zu erhalten, wurde für jede Person die Abweichung der gezeichneten Linien von der Horizontalen berechnet, über die 7 Trials gemittelt (ohne die relativ uninteressante 0°-Bedingung, in der das Glas aufrecht stand). Abbildung 6 zeigt die mittleren Abweichungen pro Altersgruppe und Geschlecht.

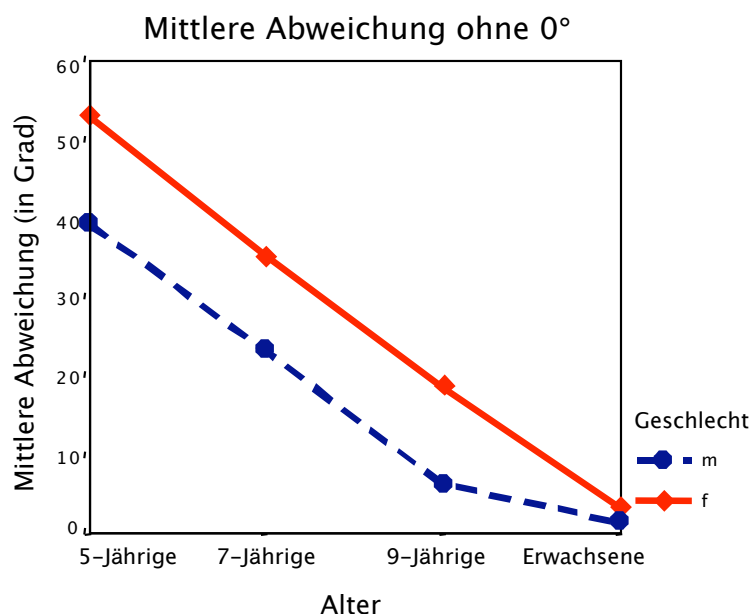


Abbildung 6. Mittlere Abweichung der gezeichneten Linien von der Horizontalen, ohne die 0°-Bedingung für Geschlecht und Altersgruppen.

Eine univariate Varianzanalyse mit den mittleren Abweichungen von der Horizontalen als abhängige Variable und den Faktoren *Geschlecht* (2), *Altersgruppe* (4)

und *Reihenfolge* (2: Kippen zuerst vs. Zeichnen zuerst) zeigte einen signifikanten *Alterseffekt*, $F(3, 64) = 17.21$, $p < .001$, $\eta^2 = .45$, und einen signifikanten *Haupteffekt* von *Geschlecht*, $F(1, 64) = 4.51$, $p < .05$, $\eta^2 = .07$. Je älter die Kinder wurden, desto weniger wichen sie von der Horizontalen ab, und die Jungen zeigten im Mittel weniger Abweichungen als die Mädchen. Abbildung 6 zeigt jedoch, dass dieser Geschlechtseffekt bei den Erwachsenen nicht in Erscheinung trat. Es fand sich kein Effekt der *Reihenfolge*, $F(1, 64) = 1.84$, $p = .18$, $\eta^2 = .03$, und auch alle Interaktionen erwiesen sich als nicht signifikant, alle $p > .34$, $\eta^2 < .05$.

Diskussion

Geschlechtseffekte, die in früheren Untersuchungen zur *Water-Level*-Aufgabe gefunden wurden (z. B. Kalichman, 1988; Liben, 1991a; Liben & Golbeck, 1980; Linn & Petersen, 1985; Sholl & Liben, 1995; Vasta et al., 1994), konnten weitgehend repliziert werden. Jungen zeigten in ihren gezeichneten Wasserlinien weniger Abweichung von der korrekten horizontalen Linie als Mädchen. Bei den Erwachsenen zeigte sich jedoch, im Gegensatz zu zahlreichen früheren Befunden, kein nennenswerter Geschlechtsunterschied. Allgemein schnitten die Erwachsenen sehr viel besser ab, als aufgrund früherer Befunde zu erwarten gewesen wäre. Nur 5,6% aller gezeichneten Linien überstiegen das Kriterium um noch als horizontal zu gelten. Eine mögliche Erklärung für diese Diskrepanz könnte sein, dass die Erwachsenen von der hier angewandten vertikalen Präsentation der Versuchsmaterialien profitierten. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass Erwachsene sensitiv sind für die natürliche Richtung der Gravitation (vgl. Schwartz, 1999) und es ihnen schwerer fällt eine abstrakte Aufgabe zu lösen, bei welcher die Gravitationsrichtung in der Horizontalen repräsentiert ist, als eine in der die repräsentierte Gravitationsrichtung mit der tatsächlichen übereinstimmt.

Horizontale Strategien nahmen bei allen Gläsern mit dem Alter stetig zu. Bei den in 90°-Schritten gedrehten Gläsern zeigten alle Erwachsenen konsistent horizontale Strategien. Boden- und Deckelstrategien, mit zum Glasrand orthogonalen Linien, zeigten sich nur bei Kindern, insbesondere bei den 5- und 7-Jährigen. Diese Strategien zeigten sich etwa doppelt so oft bei den in 45°-Schritten gedrehten Gläsern im Vergleich zu den in 90°-Schritten gedrehten Gläsern. Die beiden jüngsten Altersgruppen schienen also, in Übereinstimmung mit früheren Resultaten zur *Water-Level*-Aufgabe (siehe Abbildungen 1 und 2), mit schrägen Gläsern besondere Mühe zu haben.

Experiment 1b (Wasserglas-Kipp-Aufgabe)

Methode

Teilnehmerinnen und Teilnehmer

Es nahmen dieselben Kinder und Erwachsenen teil, wie in Experiment 1a. Dieselben Versuchspersonen lösten somit beide Aufgaben, wobei die eine Hälfte mit Experiment 1a begann, die andere Hälfte mit Experiment 1b.

Versuchsmaterial

Das Stimulusmaterial für die Wasserglas-Kipp-Aufgabe bestand aus 9 Gläsern gleicher Höhe. Nach der Methode des funktionalen Messens (Anderson, 1982) wurden der innere Durchmesser und die Füllhöhe der Gläser systematisch in je drei Stufen variiert (siehe Abbildung 7). Die Gläser hatten einen inneren Durchmesser von 25 mm, 45 mm oder 65 mm; und die Füllhöhe reichte bis 15 mm, 30 mm oder 45 mm unter den Glasrand.

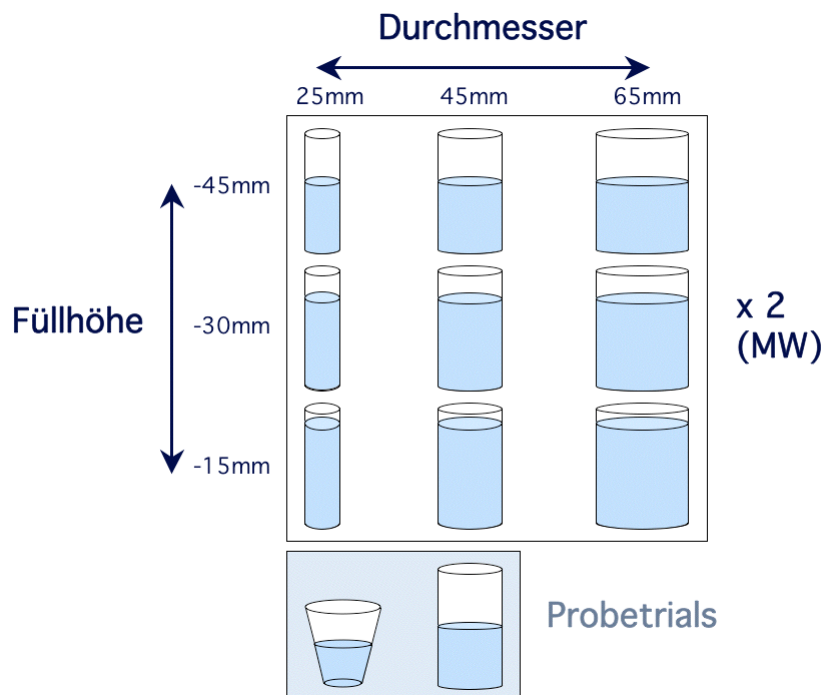


Abbildung 7. Versuchsmaterial Wasserglas-Kipp-Aufgabe. Dreistufige Variation des Innendurchmessers und der Füllhöhe (Distanz zum oberen Glasrand).

Diese gefüllten Gläser dienten als *Referenzgläser* und wurden nie gekippt. Ein zweites identisches Set von leeren Gläsern wurde jeweils von den Versuchsteilnehmerinnen und Teilnehmern gekippt (siehe Abbildung 8 bzw. „Versuchsablauf“). Die Kippbewegungen wurden mittels einer Videokamera aufgenommen, die gegenüber den Versuchsteilnehmerinnen und Teilnehmern montiert war. Um eine spätere Video-Auswertung der Kippwinkel zu ermöglichen und perspektivische Verzerrungen zu verhindern, musste sicher gestellt werden, dass die Gläser immer in derselben Ebene (parallel zur Kameralinse) und an demselben Ort (im Zentrum der Kameralinse) gekippt wurden. Zu diesem Zweck wurde ein Versuchsaufbau kreiert, der in einer festgelegten Relation zur Videokamera stand. Auf diesem Aufbau war auf Höhe der Kameralinse eine Kasperlepuppe fest montiert, an deren Mund das Glas angesetzt und möglichst gerade gekippt werden sollte (siehe Abbildung 8).



Abbildung 8. Versuchsaufbau Wasserglas-Kipp-Aufgabe mit gefülltem Referenzglas (links im Bild) und zu kippendem leeren Glas. (Ansicht leicht höher als Kameraperspektive)

Versuchsdesign

Es wurde ein vollständiges faktorielles Messwiederholungs-Design angewendet, mit den Innersubjekt-Faktoren *Durchmesser* (3) x *Füllhöhe* (3) x *Messwiederholung* (2). Die Messwiederholung wurde geblockt dargeboten, so dass alle

Kombinationen einmal vollständig präsentiert wurden, und danach alle noch einmal in einer anderen Reihenfolge. Die Präsentationsreihenfolge der Stimuli wurde durch ein Randomisierungsprogramm¹ für jede Versuchsperson unterschiedlich hergestellt. Es wurden insgesamt 18 Versuchstrials und zwei Probetrials präsentiert. Gemessen wurde der Kippwinkel der Gläser in Grad. Verbale Äusserungen über benutzte Strategien wurden von der Versuchsleiterin nach der Handlungs-Aufgabe erfragt und stichwortartig notiert. Des Weiteren wurden explizite Urteile bezüglich zwei Auswahl-Aufgaben erhoben.

Versuchsablauf

Die Versuche fanden im Labor statt. Ein Elternteil oder eine Betreuungsperson der Kinder sass etwas entfernt im selben Raum und wurde gebeten nicht zu interferieren.

Zur Verdeutlichung der Aufgabe, sollten die Kinder und Erwachsenen zuerst, mithilfe eines ca. halb gefüllten konischen Kunststoffbechers, bei sich selber ausprobieren, ein möglichst kleines Tröpfchen Wasser zu trinken. Danach wurde das mitteldicke Glas zur Hälfte mit Wasser gefüllt und auf den Tisch gestellt. Diese Kombination kam in den späteren Versuchstrials nicht vor. Die Versuchsteilnehmerin oder der Versuchsteilnehmer erhielt ein identisches, aber leeres Glas. Sie wurden instruiert, sich vorzustellen, dass dieses Glas genauso hoch wie das Referenzglas mit Wasser gefüllt sei. Daraufhin sollte das Glas an den Mund einer Puppe angesetzt und so weit gedreht werden, dass nur ein einziges Tröpfchen über den Rand fliessen würde (siehe Abbildung 8). Die Aufgabe wurde in eine kindgerechte Geschichte eingebettet. In dem Augenblick, da das Tröpfchen Wasser über den Rand fliessen würde, sollten die Versuchsteilnehmerinnen und Versuchsteilnehmer „Stopp“ sagen. Die Versuchsleiterin drückte in dem Moment auf einen Knopf, so dass ein Licht erschien welches auf dem Video registriert wurde und den genauen Zeitpunkt der Messung angab. Dieser Probetrial wurde gegebenenfalls wiederholt, bis die Aufgabe verstanden wurde und sauber in der Ebene gekippt wurde. Danach wurden alle Versuchstimuli einzeln präsentiert. Nach den 18 Versuchstrials wurden die Kinder und

¹ Die durch dieses Programm erstellten Zufallsreihenfolgen unterliegen den Restriktionen, dass jede Kombination einmal pro Block gezeigt wird, und die gleichen Faktorstufen nicht unmittelbar aufeinander folgen.

Erwachsenen gefragt, ob sie irgendeine Strategie, bzw. einen Trick angewendet, oder etwas Spezielles beachtet oder überlegt hätten.

Jeweils nach der Handlungs-Aufgabe wurden die Kinder und Erwachsenen gefragt, welches von zwei Gläsern man weiter kippen müsse, bis das Wasser zum Rand kommen würde, oder ob man beide gleich weit kippen müsse. Die Antwort wurde notiert und danach gefragt ob sich das Kind oder der Erwachsene bei dieser Antwort sicher sei oder nicht. Für diese Auswahl-Aufgabe wurden aus dem oben erwähnten Stimulusset (siehe Abbildung 7) folgende Kombinationen präsentiert:

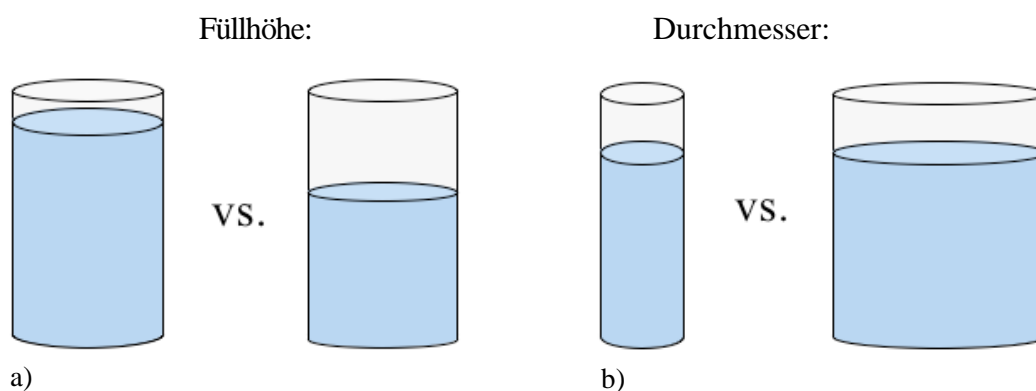


Abbildung 9. Stimuli der Auswahl-Aufgaben in der verbalen Befragung.

Resultate & Interpretation

Datenaufbereitung

Die Kippwinkel wurden anhand der Videoaufnahmen ausgemessen. Ein Raster auf dem Videomonitor zeigte horizontale und vertikale Linien. Mithilfe eines Transporteurs wurde der Winkel zwischen der Glaskante und der Vertikalen ausgemessen. Als Angabe für den Messzeitpunkt diente der Lichtpunkt auf dem Videobild, welcher durch Knopfdruck von der Versuchsleiterin erzeugt wurde, zu dem Zeitpunkt als die Kinder und Erwachsenen „Stopp“ sagten. Alternativ, falls die Versuchsleiterin den Moment verpasste hatte wurde auf die Lippen der Kinder und Erwachsenen geachtet und das Schliessen der Lippen beim Buchstaben „P“ in „Stopp“ als Messzeitpunkt genommen. In Fällen wo auch dies nicht ersichtlich war oder das Glas zu diesem Zeitpunkt den Mund der Kasperlepuppe schon verlassen hatte, wurde der höchste Punkt des Glases vor dem Verlassen des Mundes gemessen.

Gruppenanalysen

Abbildung 10 zeigt das normative Muster welches resultieren würde, wenn man die Gläser mit Wasser gefüllt kippen würde. Die zu kippenden Winkel werden mit zunehmender Füllhöhe kleiner (Graphen sinken nach rechts hin ab) und die zu kippenden Winkel werden mit zunehmendem Glasdurchmesser kleiner (parallel abgestufte Graphen, mit breitem Glas zuunterst und dünnstem Glas zuoberst).

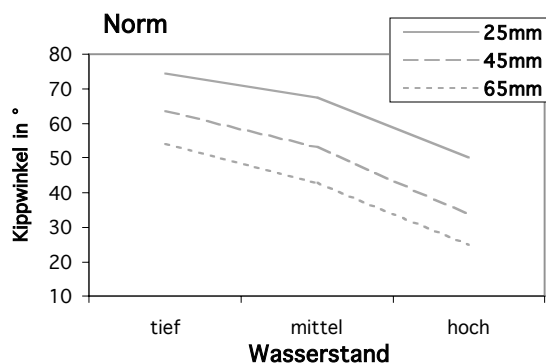


Abbildung 10. Ideales Muster der Kippwinkel in Abhängigkeit von dem Durchmesser und der Füllhöhe des Glases.

Die Abbildungen 11 bis 14 zeigen die Muster, die von den vier Altersgruppen in der Wasserglas-Kipp-Aufgabe produziert wurden. In hellgrau ist jeweils zum Vergleich das normative Muster abgebildet. Statistische Analysen (Varianzanalysen) für jede Altersgruppe ergaben signifikante Effekte der Faktoren *Durchmesser* und *Füllhöhe* aber keine Interaktion dieser beiden Faktoren.

Diese Resultate weisen darauf hin, dass alle Altersgruppen beide variierten Dimensionen berücksichtigt haben und *Durchmesser* und *Füllhöhe* in additiver Art und Weise verknüpft haben. Die parallel abgestuften und nach rechts hin abfallenden Graphen unterstützen diese Interpretation. Die beinahe horizontalen Graphen der 5-Jährigen zeigen aber, dass der Einfluss des Faktors *Füllhöhe* – obwohl statistisch immer noch signifikant – in dieser Altersgruppe weniger stark war.

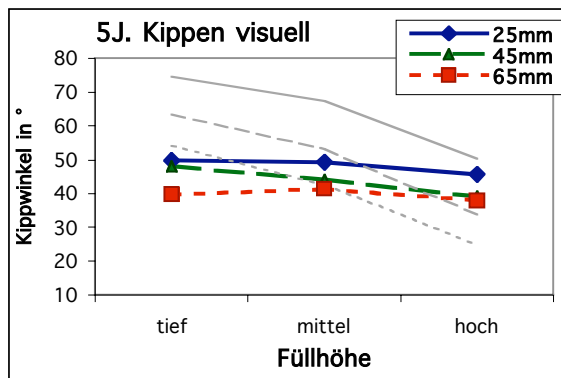


Abbildung 11. Gruppenmittelwerte der Kippwinkel der 5-Jährigen.

Durchmesser:

$$F(2, 38) = 22.03, p < .001, \eta^2 = .54$$

Füllhöhe:

$$F(2, 38) = 9.41, p < .001, \eta^2 = .33$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F(4, 76) = 2.30, p = .07, \eta^2 = .11$$

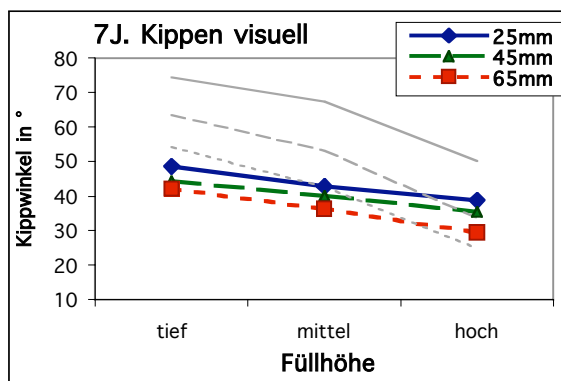


Abbildung 12. Gruppenmittelwerte der Kippwinkel der 7-Jährigen.

Durchmesser:

$$F(2, 38) = 29.52, p < .001, \eta^2 = .61$$

Füllhöhe:

$$F(2, 38) = 45.26, p < .001, \eta^2 = .70$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F < 1$$

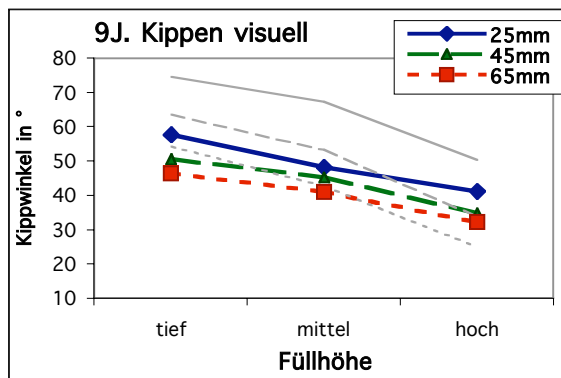


Abbildung 13. Gruppenmittelwerte der Kippwinkel der 9-Jährigen.

Durchmesser:

$$F(2, 38) = 33.79, p < .001, \eta^2 = .64$$

Füllhöhe:

$$F(2, 38) = 103.36, p < .001, \eta^2 = .85$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F(4, 76) = 1.47, p = .22, \eta^2 = .07$$

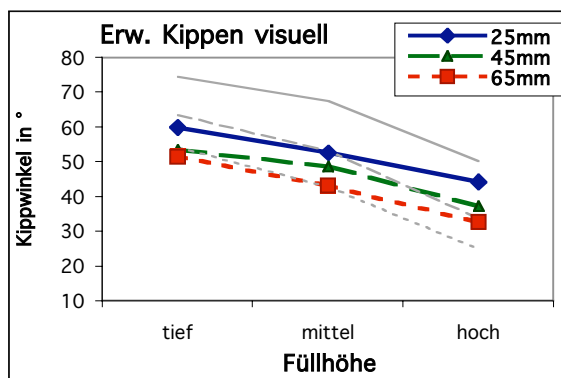


Abbildung 14. Gruppenmittelwerte der Kippwinkel der Erwachsenen.

Durchmesser:

$$F(2, 38) = 72.66, p < .001, \eta^2 = .79$$

Füllhöhe:

$$F(2, 38) = 190.77, p < .001, \eta^2 = .91$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F(4, 76) = 2.13, p = .09, \eta^2 = .10$$

Es wurde eine Gesamt-ANOVA gerechnet, mit den Innersubjekt-Faktoren *Durchmesser* (3) und *Füllhöhe* (3) und den Zwischensubjekt-Faktoren *Altersgruppe* (4) und *Geschlecht* (2). Der Faktor *Geschlecht* hatte keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die Kippwinkel, $F < 1$, und interagierte weder mit dem Faktor *Durchmesser* $F(2, 144) = 2.45$, $p = .09$, $\eta^2 = .03$, noch mit der *Füllhöhe*, $F(2, 144) = 2.74$, $p = .07$, $\eta^2 = .04$. Daher wurde der Faktor *Geschlecht* nicht in die folgenden Analysen einbezogen.

Es wurde eine Gesamt-ANOVA gerechnet, mit den Innersubjekt-Faktoren *Durchmesser* (3) und *Füllhöhe* (3) und dem Zwischensubjekt-Faktor *Altersgruppe* (4). Es zeigten sich signifikante Haupteffekte der Faktoren *Durchmesser*, $F(2, 152) = 135.19$, $p < .001$, $\eta^2 = .64$, und *Füllhöhe*, $F(2, 152) = 250.02$, $p < .001$, $\eta^2 = .78$. Je älter die Kinder waren, desto besser wurden die verschiedenen *Füllhöhen* differenziert, $F(6, 152) = 13.03$, $p < .001$, $\eta^2 = .34$. (Dies zeigt sich auch in steiler werdenden Graphen je älter die Kinder werden, in oben dargestellten Gruppengraphiken.) Es zeigte sich jedoch kein *Alterseffekt* bezüglich der Differenzierung der *Durchmesser*, $F < 1$, und auch kein Haupteffekt der *Altersgruppe*, $F(3, 76) = 1.33$, $p = .27$, $\eta^2 = .05$. Alle weiteren Interaktionen erwiesen sich als nicht signifikant, alle $p > .09$, $\eta^2 < .06$. Offenbar gab es also keine Alterseffekte bezüglich der Berücksichtigung des Durchmessers. Alle Altersgruppen differenzierten die verschiedenen Durchmesser im Mittel gleich gut. Je älter die Kinder wurden, desto mehr bezogen sie aber auch die Füllhöhe in ihre Schätzungen mit ein.

Absolute Werte

Der nicht signifikante Alterseffekt in der oben erwähnten Gesamt-ANOVA weist darauf hin, dass sich die Altersgruppen nicht darin unterschieden, wie weit sie im Mittel die Gläser kippten. Um die Leistung in der Wasserglas-Kipp-Aufgabe mit der Leistung in der oben beschriebenen *Water-Level*-Aufgabe zu vergleichen, wurde für jede Aufgabe ein Gütemass für die Übereinstimmung mit der normativen Lösung berechnet. Als generelles Gütemass für die Leistung in der Wasserglas-Kipp-Aufgabe wurde für jede Person die Übereinstimmung der produzierten Kippwinkel mit dem normativen Muster berechnet, d.h. die Daten jeder Versuchsperson wurden mit der Norm korreliert. Abbildung 15 zeigt die mittleren Korrelationen (Fishers Z) pro Altersgruppe. Eine univariate Varianzanalyse mit den Fisher-transformierten Korrelationen als abhängige Variable und den

Faktoren *Geschlecht* (2), *Altersgruppe* (4) und *Reihenfolge* (2: Kippen zuerst vs. Zeichnen zuerst) zeigte einen signifikanten *Alterseffekt*, $F(3, 64) = 10.18$, $p < .001$, $\eta^2 = .32$, jedoch keine Effekte von *Geschlecht*, $F < 1$, und *Reihenfolge*, $F < 1$. Alle Interaktionen erwiesen sich als nicht signifikant, alle $p > .08$, $\eta^2 < .10$.

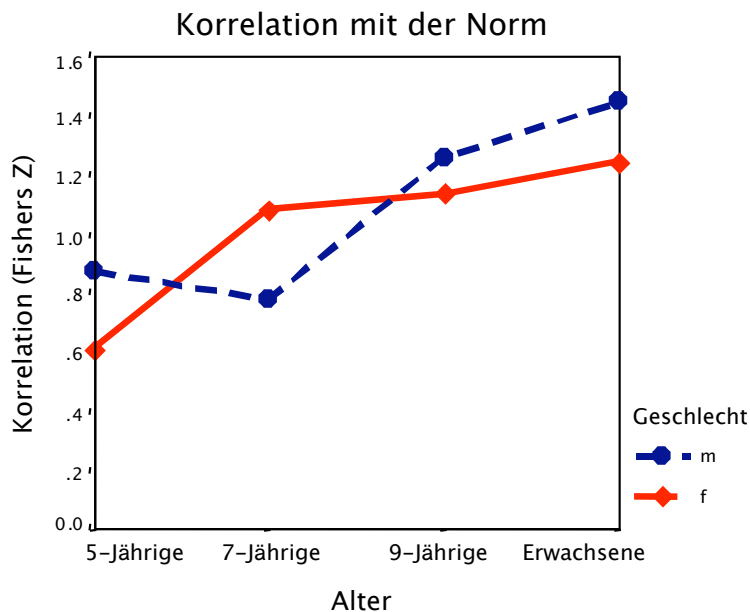


Abbildung 15. Korrelation der Kippwinkel mit dem normativen Muster (Fishers Z) für Geschlecht und Altersgruppen.

Konsistenzen

Da jede Kombination aus Durchmesser und Füllhöhe je zweimal präsentiert wurde, liess sich für jede Versuchsperson die Korrelation der Kippwinkel für diese jeweils identischen Kombinationen berechnen. Diese Korrelation (Pearsons r) gibt Aufschluss über die Konsistenz der Schätzungen der jeweiligen Versuchsperson. Die Konsistenz nahm im Mittel mit zunehmendem Alter zu (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3

Mittlere Konsistenzen (*Pearsons r* und *Fishers Z*), und Standardabweichung von *Fishers Z*.

	Kippen		
	<i>r</i>	<i>Z</i>	<i>SD</i>
5-Jährige	.27	0.27	0.41
7-Jährige	.53	0.59	0.52
9-Jährige	.74	0.94	0.61
Erwachsene	.85	1.26	0.36

Einzelanalysen

Da die Methode des funktionalen Messens ein Messwiederholungs-Design beinhaltet, kann für jede Person einzeln eine Varianzanalyse gerechnet werden. Aufgrund der signifikanten Faktoren in den Einzel-ANOVAs lassen sich Rückschlüsse ziehen, welche Dimensionen die einzelne Person für ihre Schätzungen herangezogen hat. In diesem Falle wurde für jede Person eine ANOVA gerechnet, mit den unabhängigen Variablen *Durchmesser* und *Füllhöhe* als dreistufige Innersubjekt-Faktoren und den Kippwinkeln als abhängige Variable. Die Kinder und Erwachsenen wurden klassifiziert nach den Faktoren, die jeweils in der Einzel-ANOVA auf 10%-Niveau statistisch signifikant waren. Dieses Signifikanzniveau wurde gewählt um das Risiko zu minimieren, angewendete Strategien zu übersehen. Abbildung 16 zeigt die Ergebnisse dieser Einzelanalysen.

Mit steigendem Alter sank die Häufigkeit der nicht nachvollziehbaren Strategien und der eindimensionalen Strategien, während die normative Strategie der Berücksichtigung von *Durchmesser* und *Füllhöhe* häufiger angewendet wurde. Keines der 5-Jährigen zeigte eine statistisch signifikante zweidimensionale Strategie. Bemerkenswert ist jedoch, dass die vorherrschende eindimensionale Strategie bei den 5-Jährigen nicht die Berücksichtigung der *Füllhöhe* war, sondern die Berücksichtigung des *Durchmessers*. Aus den expliziten Urteilen (siehe folgender Abschnitt) geht jedoch hervor, dass fast alle Kinder und Erwachsenen ein explizites Wissen über den Einfluss der *Füllhöhe* auf den zu kippenden Winkel, nicht jedoch über denjenigen des *Durchmessers* haben.

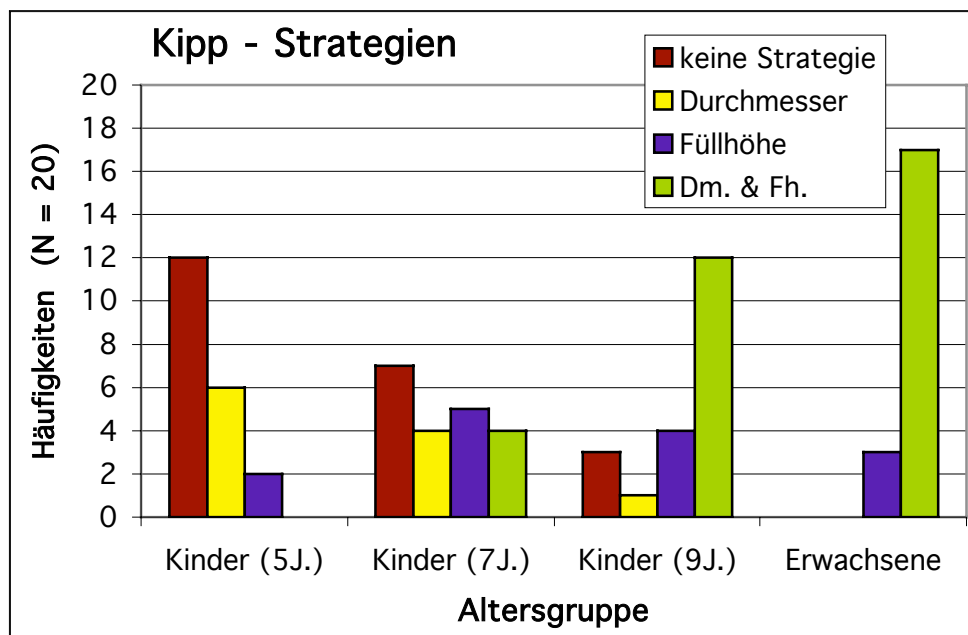


Abbildung 16. Strategien in der Wasserglas-Kipp-Aufgabe, klassifiziert aufgrund von Einzel-ANOVAs (signifikante Effekte bei $p < .10$) in den verschiedenen Altersgruppen.

Es erfolgte eine genauere Analyse davon, in welche Richtung die Effekte des Faktors Durchmesser gingen, sofern sie in den Einzelanalysen auf dem 10%-Niveau statistisch signifikant waren. Dazu wurden die Kinder und Erwachsenen eingeteilt, je nachdem ob sie (gemittelt über die drei Messwiederholungen) bei tiefster und höchster Füllhöhe jeweils das dünnste oder das dickste Glas weiter kippten. Wurde bei beiden Füllhöhen das dünnere Glas weiter gekippt, galt dies als „richtige“ Strategie; wurden bei beiden Füllhöhen das dickere Glas weiter gekippt, so galt dies als „falsche“ Strategie; und wurde bei den beiden Füllhöhen einmal das dünne und einmal das dicke Glas weiter gekippt, wurde dies als „inkonsistent“ klassifiziert². Die Analyse zeigte, dass 95.5% der Effekte konsistent in die normative Richtung gingen, ein Drittklässler und ein Erwachsener (4.5%) kippten inkonsistent einmal das dünne Glas, einmal das dicke Glas weiter, und niemand kippte konsistent das dicke Glas weiter.

² Es wurden nur die Extreme der jeweils drei Durchmesser und Füllhöhen für diese Analyse verwendet, um sie mit den Analysen der nachfolgenden Experimente vergleichbar zu machen.

Explizite Urteile

Jeweils nach der Handlungs-Aufgabe wurden die Kinder und Erwachsenen gefragt, welches von zwei Gläsern (identische Durchmesser aber verschiedene Füllhöhen; identische Füllhöhen aber verschiedene Durchmesser) man weiter kippen müsste, bis das Wasser zum Rand kommen würde und ob sie sich dabei sicher seien.

Bei den Gläsern, die sich nur in der Füllhöhe unterschieden (Abbildung 9a), waren sich fast alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer sicher, dass man das niedriger gefüllte Glas weiter kippen muss bis das Wasser zum Rand kommt, als das höher gefüllte Glas. Nur zwei aus der jüngsten Altersgruppe gaben hier eine inkorrekte Antwort.

Bei den Gläsern, die sich in ihrem Durchmesser unterschieden (Abbildung 9b) waren die Antworten sehr viel uneinheitlicher. Abbildung 17 zeigt die Verteilung der Antworten, geordnet nach richtig und falsch und ob die Teilnehmerinnen und Teilnehmer angaben, sich dabei sicher zu sein oder nicht. Von den „sicheren“ Aussagen lagen insgesamt doppelt so viele Antworten falsch wie richtig (40:20). Von den „unsicheren“ Aussagen waren jeweils 10 richtig und 10 falsch. Diese Zahlen die einer Zufallsverteilung sehr nahe kommen, deuten darauf hin, dass viele wohl bei dieser Frage raten mussten. Während bei den Erwachsenen die Verteilung der richtigen und falschen Antworten mit 7 zu 13 ziemlich genau der Ratewahrscheinlichkeit bei drei Alternativen (das dünne, das dicke oder beide gleich) entsprach, waren die Antworten bei den Kindern auf zwei Antwortalternativen (das dünne oder das dicke) verteilt, denn offensichtlich war für sie „beide gleich“ keine Option. Die Kinder waren sich häufiger sicher wenn sie richtig lagen als die Erwachsenen. Generell gab es weniger unsichere Aussagen bei Kindern, auch bei falschen Lösungen. Zwischen männlichen und weiblichen Versuchspersonen ergab sich kein nennenswerter Unterschied in der Verteilung richtiger und falscher Aussagen, $\chi^2(1, N = 80) = .85, p = .36$.

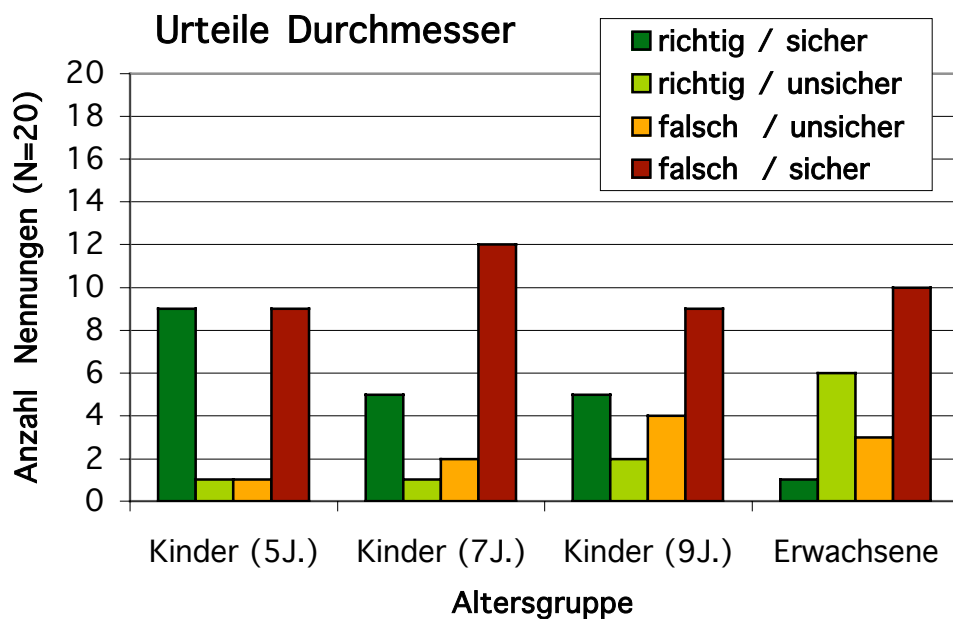


Abbildung 17. Explizite Antworten in verbaler Befragung (Auswahl-Aufgaben), kategorisiert nach Richtigkeit und Sicherheit der Aussagen.

Vergleich Wasserglas-Kipp-Aufgabe mit Water-Level-Aufgabe

Um die Leistung in der Wasserglas-Kipp-Aufgabe mit der Leistung in der klassischen *Water-Level*-Aufgabe zu vergleichen, wurde die jeweilige Übereinstimmung mit der normativen Lösung in den beiden Aufgaben miteinander verglichen. Der Zusammenhang der Gütemasse in den beiden Aufgaben war statistisch signifikant, $r(N = 80) = -.41, p < .001$. d.h. eine niedrige Abweichung von der Horizontalen in der *Water-Level*-Aufgabe, ging einher mit einer hohen Übereinstimmung mit der Norm in der Wasserglas-Kipp-Aufgabe. Wenn jedoch der Effekt der Altersgruppe vernachlässigt wurde (partielle Korrelation, kontrolliert nach Altersgruppe), war der Zusammenhang zwischen den Leistungen in beiden Aufgaben unbedeutend gering, $r(N = 80) = -.17, p = .13$. Nur das Alter sorgte für eine Korrelation, d.h. je älter die Kinder waren, desto besser schnitten sie in beiden Aufgaben ab. Innerhalb der Altersgruppen zeigte sich jedoch kein Zusammenhang in der Richtung, dass ein und dieselben Kinder gut in beiden Aufgaben waren.

Diskussion

Obwohl es sich bei der Wasserglas-Kipp-Aufgabe um eine Aufgabe zur räumlichen Vorstellung handelt, bei der Geschlechtsunterschiede aufgrund früherer Ergebnisse (z. B. Campos & Perez, 1988; Paivio & Clark, 1991; Schiff & Oldak, 1990) erwartet werden könnten, zeigten sich hier keine Geschlechtseffekte.

Beide Stimulus-Dimensionen, Durchmesser und Füllhöhe, wurden in allen Altersgruppen berücksichtigt. Im Einklang mit früheren Ergebnissen von Black und Schwartz (1996), war der Effekt der Füllhöhe bei den 5-Jährigen weniger stark ausgeprägt als in den älteren Gruppen. In expliziten Urteils-Aufgaben hingegen erwies sich die Füllhöhe als der weit „einfachere“ Faktor. Diese weniger starke Berücksichtigung der Füllhöhe könnte darauf zurückzuführen sein, dass beim Kippen des leeren Glases dessen Durchmesser die ganze Zeit im Blickfeld war und auch haptische Information über den Durchmesser zu Verfügung stand. Mögliche Effekte von visueller und haptischer Information über das zu kippende Glas auf die Leistung in dieser Vorstellungsaufgabe wurden in einem Folgeexperiment untersucht (siehe Experiment 3).

Die Reihenfolge der Präsentation der beiden Aufgaben (die *Water-Level*-Aufgabe zuerst vs. die Wasserglas-Kipp-Aufgabe zuerst) beeinflusste die Leistungen nicht. Es fanden sich also keine Transfer-Effekte von einer Aufgabe auf die andere. Das bedeutet, dass die vorhergehende Erfahrung mit den Gläsern und die Vorstellung des Wasserspiegels keinen Einfluss auf die nachfolgende Zeichenleistung hatten. Dieser Befund ergänzt Ergebnisse aus früheren Studien (Schwartz, 1999; Schwartz & Black, 1999), die keine Transfereffekte von blind ausgeführten Kipp-Handlungen auf nachfolgende Urteils-Aufgaben zeigten. Umgekehrt hatte auch eine vorherige Aktivierung von teils falschen Annahmen über den Wasserspiegel (z. B. das Zeichnen von vertikalen oder orthogonalen Linien) keinen Einfluss auf nachfolgende Leistungen in der Handlungs-Aufgabe. Dies deutet darauf hin, dass die beiden Leistungen weitgehend voneinander unabhängig sind.

Die Leistung in der Wasserglas-Kipp-Aufgabe und der *Water-Level*-Aufgabe standen in keinem statistisch gesicherten Zusammenhang, abgesehen davon, dass die Kinder besser in beiden Aufgaben waren, je älter sie waren. Wurde der Einfluss des Alters jedoch auspartialisiert, ergab sich kein Zusammenhang zwischen den beiden Leistungen. Dieses Resultat steht im Gegensatz zu Ergebnissen von Lohaus, Kessler, Thomas und Gediga (1994), die – ebenfalls unter Berück-

sichtigung des Alters als Kovariate – Zusammenhänge gefunden haben zwischen der Leistung in der *Water-Level*-Aufgabe und in anderen Aufgaben aus dem Bereich räumlicher Fähigkeiten und mentaler Vorstellungen, wie der *Rod-and-Frame*-Aufgabe und einer Aufgabe zur mentalen Rotation. Der fehlende Zusammenhang in den vorliegenden Aufgaben weist darauf hin, dass diese offenbar verschiedene Aspekte des Verständnisses von Horizontalität messen. In der klassischen *Water-Level*-Aufgabe könnten möglicherweise Faktoren wie Abstraktionsvermögen, zeichnerische Fertigkeiten oder Feldunabhängigkeit die Leistung mehr bestimmen als ein Konzept von Horizontalität. Die Wasserglas-Kipp-Aufgabe hingegen, kann kaum gelöst werden ohne die Fähigkeit, sich das Wasser horizontal vorstellen zu können.

Es wäre denkbar, dass die Kinder und die Erwachsenen einfach wussten, wie sie die Gläser zu kippen hatten, und das taten, ohne sich das Wasser tatsächlich vorzustellen. Dies ist jedoch sehr unwahrscheinlich, wenn man bedenkt, dass bei den expliziten Urteilen die Antworten bezüglich des Durchmessers zufällig verteilt waren. Dieses Resultat legt nahe, dass kein explizites oder formales Wissen über die physikalisch-geometrischen Zusammenhänge vorhanden war, sondern vielmehr geraten wurde. Trotzdem kippten die Kinder und Erwachsenen im Mittel intuitiv die dünnen Gläser weiter als die dicken. Entgegen Piaget und Inhelders (1971) Annahme, dass erst Kinder auf der konkret-operationalen Stufe sich bewegte Ereignisse vorstellen können, legen die Ergebnisse nahe, dass schon 5-jährige Kinder eine Vorstellungsstrategie erfolgreich nutzen können, und damit ein Wissen über die physikalisch-geometrischen Zusammenhänge zeigen, zu welchem sie in und abstrakten Aufgaben keinen Zugang hatten.

Experiment 2

Kurzer Überblick

In Experiment 2 wurde untersucht, ob Kinder schlechtere Leistungen zeigen, wenn die dynamischen Eigenschaften der Bewegung ungewohnt sind und weniger auf bekannte Handlungsschemata zurückgegriffen werden kann. Zu diesem Zweck wurde die über die sensumotorische Wahrnehmung erfahrbare dynamische Information in drei aufeinander folgenden Aufgaben systematisch manipuliert. In einer ersten Aufgabe drehten die Kinder und Erwachsenen das Glas in einer neutralen Bedingung, wie schon in Experiment 1, aber an einer Drehapparatur. In einer darauf folgenden Aufgabe wurde das Glas gedreht, während es mit einem Schwungrad gekoppelt war, sodass ein zusätzliches Drehmoment entstand. In einer dritten Urteils-Aufgabe wurde das Glas gar nicht gedreht, sondern blieb statisch in der aufrechten Position stehen, während der zu kippende Winkel mit einem Marker angezeigt wurde.

Sowohl Kinder als auch Erwachsene berücksichtigten in der neutralen Bedingung Durchmesser und Füllhöhe. In der Urteilsbedingung, in welcher das Glas statisch aufrecht stehen blieb, berücksichtigten jedoch Kinder und Erwachsene den Faktor Durchmesser entweder gar nicht, oder sogar in falscher Richtung. Diese Ergebnisse sind im Einklang mit Resultaten aus verbalen Befragungen (Experiment 1, dieser Band; Schwarz und Black, 1999), in denen ein sehr schlechtes deskriptives Wissen über den Einfluss des Faktors Durchmesser auf den Kippwinkel gefunden wurde. Die unterschiedlichen Ergebnisse in den Bedingungen mit und ohne Drehung des Glases zeigen, dass Kinder und Erwachsene mithilfe von Handlungen Vorstellungen generieren und zu Problemlösungen gelangen können, über die sie kein formales Wissen besitzen.

Von der Manipulation der dynamischen Eigenschaften dieser Handlungen durch das zusätzliche Schwungrad, waren vor allem die 5-jährigen Kinder betroffen, während die älteren Kinder und Erwachsenen keine starke Beeinträchtigung zeigten. Diese Resultate deuten darauf hin, dass die 5-Jährigen noch mehr auf Alltagserfahrung und eine Aktivierung gewohnter motorischer Schemata angewiesen sind, während ältere Kinder Vorstellungen flexibler und unabhängig von den dynamischen Eigenschaften der Handlung generieren und kontrollieren können.

Einleitung

Kinematische Modelle

Damit *Imagery* wichtige alltägliche Leistungen unterstützen kann, wie beispielsweise Werkzeuggebrauch oder Navigation im Raum, müssen die eigenen Bewegungen und Veränderungen im Umfeld mit entsprechenden Transformationen der mentalen Repräsentation koordiniert werden. Ein Grossteil der früheren Forschung über Raumkognition und *Imagery* befasste sich primär mit den Funktionen von *Imagery* in der Objekterkennung und beim Abgleichen von räumlichen Anordnungen (Shelton & McNamara, 1997; Shepard & Cooper, 1986; Tarr & Pinker, 1989). An prominenter Stelle standen dabei Fragen, inwiefern mentale Repräsentationen mit tatsächlichen räumlich-geometrischen Gegebenheiten übereinstimmen und inwieweit die Vorstellungen visuellen Wahrnehmungsprozessen ähnlich sind (Corballis & McLaren, 1982; Finke, 1980; Finke, 1985). Es ergaben sich Hinweise darauf, dass neuronale Mechanismen, die mit frühen visuellen Prozessen identifiziert werden, bei Vorstellungsprozessen involviert sind (Gilden, Blake, & Hurst, 1995). Resultate aus Studien mit bildgebenden Verfahren unterstützen die Annahme, dass Vorstellung und Wahrnehmung nah verwandte Prozesse sind und einige Gehirnareale bei beiden Prozessen beteiligt sind (Kosslyn et al., 1995).

Nach traditionellem „kinematischen“ Modell der Vorstellung, werden nur räumliche Beziehungen und geometrische Information, wie Form, Grösse, oder Position repräsentiert. Shepard (1984; 1994) beispielsweise argumentiert, dass *Imagery* grundsätzlich kinematisch ist und keine dynamische Information (Kraft, Reibung, Trägheit,...) repräsentiert wird. Auch Kosslyns (1994) Modell der Vorstellung geht von einer analogen räumlichen Anordnung mit metrischen Eigenschaften aus, wobei diese Eigenschaften aber keine nicht-visuellen oder dynamischen Komponenten beinhalten. Als nur eines von vielen Beispielen, wie Vorstellungen über physikalische Vorgänge, mit einem kinematischen Modell erklärt wurden, argumentierten McAfee und Proffitt (1991), dass es nicht ein falsches Verständnis von Gravitation sei, dass Personen davon abhält zu realisieren, dass Wasser immer horizontal in einem Glas bleibt. Vielmehr sei es der Bezug auf den Glasrand anstatt der Horizontalen als Referenzrahmen, welches die Fehler in Piagets *Water-Level*-Aufgabe erklären kann.

Dynamische Modelle

Im Alltag werden aber nicht nur visuell-räumliche Leistungen wie Formerkennung, Objektlokalisierung, Perspektivenänderungen und Navigation gefordert. Wir werden auch mit physikalischen Grössen wie Kraft und Widerstand konfrontiert, oder müssen voraussehen, wie die Bewegungen zweier verschieden schwerer Objekte sich gegenseitig beeinflussen. Entsprechend gehen dynamische Modelle der Vorstellung davon aus, dass mentale Transformationen auch durch analoge Repräsentationen von Masse und Kräften gelenkt werden. Um eine mentale Simulation durchzuführen, muss ein mentales Modell einer Situation gebildet werden können, welches alle relevanten Aspekte der Situation verlässlich intern repräsentiert, auch diejenigen, die nicht direkt wahrnehmbar sind. Also auch dynamische Komponenten der physikalischen Umwelt, die nicht direkt durch Beobachtung zu erschliessen sind, wie zum Beispiel Kraft, Reibung, Trägheit, müssten in die mentalen Repräsentationen integriert werden können.

In der kognitiven Psychologie wurde der Begriff *mentale Modelle* für viele unterschiedliche repräsentationale Konstrukte gebraucht, einschliesslich Regeln und diskrete Symbolsysteme. Um sich davon abzugrenzen benutzen Schwartz und Black (1996) den Begriff *depictive models* und bezeichneten damit den Versuch, perzeptuelle Erfahrung intern wieder aufleben zu lassen. Insofern ist dieses Konzept ähnlich dem der analogen Vorstellung (Shepard & Cooper, 1986), welche die Struktur und Vorgänge eines physikalischen Systems nachahmt. Depiktive Modelle gehen aber darüber hinaus, indem sie nebst den räumlichen auch Gesetze der Dynamik (wie z. B. Reibung) mit einbeziehen. Freyd (1987) postuliert, dass bei Erwachsenen wenigstens einige Repräsentationen dynamisch sind. Sie definiert dynamische mentale Repräsentationen als (a) Repräsentationen, in denen Zeit analog repräsentiert ist – mit derselben inhärenten Struktur und denselben Beschränkungen, welche die Zeit in der realen Welt hat, und (b) Repräsentationen, in welchen Zeit *notwendigerweise* repräsentiert ist – die Zeitinformation kann daher nicht von der Repräsentation separiert werden. Freyd bezieht sich dabei weitgehend auf den Zeitaspekt dynamischer Vorgänge.

Ergebnisse aus Studien zur Lokalisation von bewegten Objekten zeigten, dass die zuletzt gesehene Position eines bewegten Objektes oft in Richtung der Objektbewegung (oder auch Scheinbewegung) verschoben erinnert wird. (z. B. Daum, 2005; Finke, Freyd, & Shyi, 1986; z. B. Freyd, 1987; Freyd & Finke, 1984; Hubbard, 1995a, 1997; Hubbard & Ruppel, 2002; Kerzel, 2002). Dieser

Lokalisationsfehler wurde, in Analogie zum physikalischen Trägheitsmoment *Representational Momentum* genannt. Freyd (1987) argumentierte, dass dieses *Representational Momentum* aus einer adaptiven Internalisierung des physikalischen Momentums in unser Kognitiv-Perzeptives-System resultiere. Hubbard (1995b) schlug vor, dass das *Representational Momentum* eine Internalisierung von invarianten physikalischen Prinzipien (wie Gravitation, Reibung und Zentripetalkraft) reflektiere.

Analoge Vorstellungen, wie zum Beispiel mentale Rotationen, sind jedoch nicht notwendigerweise dynamische Repräsentationen im engeren Sinne, wie sie beispielsweise Freyd (1987; siehe auch Palmer, 1978) beschreibt. Mentale Rotationen können im Grunde genommen beliebige Transformationen von an sich statischen Repräsentationen sein. Sie sind unabhängig von dynamischen Gesetzmässigkeiten möglich. Kräfte müssen nicht notwendigerweise repräsentiert sein, und die Rotationsgeschwindigkeit ist ebenfalls willkürlich (wenn auch oft eine maximale Geschwindigkeit durch die Instruktion vorgegeben ist). Gemäss Schwartz und Black (1996) zeigen auch depiktive Modelle wie analoge Vorstellungen kontinuierliche Echtzeit-Transformationen eines Objekts auf. Im Gegensatz zu analogen Vorstellungen können jedoch depiktive Modelle auch internalisierte physikalische Gesetzmässigkeiten nutzen, um Interaktionen zwischen vorgestellten Objekten zu koordinieren.

Auch Wohlschläger und Wohlschläger (1998) betrachten die Analogie zur Wahrnehmung und realen Bewegungen als eine unbefriedigende Haupterklärung für mentale Phänomene wie das der mentalen Rotation. Sie vermuten dahinter weit höhere kognitive Prozesse als die der Wahrnehmung (siehe auch Jolicoeur & Cavanagh, 1992). Je höher die beteiligten Prozesse sind, desto wahrscheinlicher ist es laut den Autoren jedoch, dass auch Handlungsplanungs-Prozesse mitbeteiligt sind.

Es gibt einige empirische Belege dafür, dass unsere internen Repräsentationen tatsächlich dynamische Aspekte enthalten. *Top-down*-Effekte, wie beispielsweise die implizite Erwartung, dass grosse Objekte schwer sind (Charpentier, 1891; Jones, 1986), können ein Hinweis darauf sein, dass unsere Repräsentationen dynamische Grössen wie Gewicht beinhalten. Hegarty (1992) fand, dass auch mechanische Wirkungsrichtungen in unsere Vorstellungen einfließen können. So ist es einfacher eine mentale Animation eines Flaschenzug-Systems in dessen Wirkungsrichtung vorzunehmen, als wenn gegen die Kausalrichtung vom Effekt (ein Block wird hochgehoben) zur Ursache (Ziehen an der Schnur)

zurückgedacht werden muss. Obwohl die relevanten räumlichen Relationen in beiden Richtungen dieselben waren, konnten sich Erwachsene den Vorgang besser vorstellen, wenn sie in Richtung der physikalischen Kräfte operieren konnten.

In einer Serie von Experimenten hat sich Schwartz (1999) mit der Frage befasst, ob und in welcher Form unsere mentalen Repräsentationen dynamische Komponenten der physikalischen Umwelt beinhalten. Dazu liess er Erwachsene leere Gläser so weit kippen, bis ein sich darin vorgestellter Wasserspiegel den Rand des Glases erreichen würde. In expliziten Auswahl-Aufgaben wussten die Teilnehmer oft nicht, welche von verschiedenen Gläsern man weiter kippen musste. Wenn sie jedoch die Kipp-Handlung simulieren sollten, lösten sie die Aufgabe richtig. Schwartz konnte ausserdem zeigen, dass – bei exakt gleicher räumlicher (geometrischer) Anordnung – unterschiedliche dynamische Information über Drehmoment, oder Annahmen über physikalische Eigenschaften wie Viskosität, beeinflusste wie weit Erwachsene die Gläser kippten. Beispielsweise kippten die Erwachsenen die Gläser weniger weit, wenn Gewichte am unteren Ende der Gläser befestigt wurden im Vergleich zu unbeschwerten Gläsern; oder sie kippten die Gläser weiter, wenn sie sich eine zähflüssige Molasse anstatt Wasser im Glas vorstellen sollten. Aufgrund rein geometrischer Überlegungen oder Vorstellungen können diese Ergebnisse nicht zu Stande gekommen sein, was nahe legt, dass dynamische Aspekte in den Vorstellungen berücksichtigt worden sind. Schwartz schloss aus seinen Experimenten, dass die Vorstellung nicht so sehr in Analogie zur Wahrnehmung betrachtet werden sollte, sondern analog zur physikalischen Bewegung.

Dynamische Repräsentationen bei Kindern

Der Bereich vor allem *dynamischer* mentaler Repräsentationen, der in der allgemeinpsychologischen Forschung ein aktuelles Thema darstellt, ist in der entwicklungspsychologischen Forschung wenig untersucht. Kaiser und Proffitt (1984) zeigten, dass schon Kindergartenkinder akkurat einschätzen konnten, welches von zwei kollidierenden Objekten das schwerere ist, und sie konnten Kollisionen, die natürlichen Trägheitsgesetzen entsprachen, von solchen unterscheiden, die ihnen nicht entsprachen. Untersuchungen zum *Representational Momentum* zeigten, dass auch Kinder ähnliche Lokalisationsfehler zeigen wie Erwachsene (Daum, 2005).

In weiteren entwicklungspsychologischen Studien mit impliziten Massen wurde gefunden, dass schon Kleinkinder sensitiv sind auf dynamische Information. So zeigen 11-monatige Kinder längere Blickzeiten wenn ein Objekt, das von einem schwerer Zylinder angestossen wurde weniger weit rollt, als ein Objekt, das von einem leichteren angestossen wurde (Kotovskiy & Baillargeon, 1994).

Wie eingangs bereits erwähnt, führten Black und Schwartz (1996) ihre Wasserglas-Kipp-Aufgabe mit 3- bis 12-jährigen Kindern durch, jedoch nicht in so umfangreichen Variationen wie mit Erwachsenen (Schwartz, 1999; Schwartz & Black, 1999). Die in Zusammenhang mit der Frage nach dynamischen Repräsentationen interessante Molasse-Bedingung oder die Bedingung mit beschwerten Gläsern (Schwartz, 1999) wurden mit Kindern nicht durchgeführt.

Im folgenden Experiment sollte daher untersucht werden, wie sensitiv Kinder und Erwachsene sind, auf Änderungen in der Dynamik der Bewegung in der Wasserglas-Kipp-Aufgabe. Insbesondere wurde der Frage nachgegangen, ob Kinder schlechtere Leistungen zeigen, wenn die dynamischen Eigenschaften der Bewegung ungewohnt sind und weniger auf bekannte Handlungsschemata zurückgegriffen werden kann. Zu diesem Zweck wurde die über die sensumotorische Wahrnehmung erfahrbare dynamische Information in drei aufeinander folgende Aufgaben systematisch manipuliert. Alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer erhielten diese drei Aufgaben nacheinander. Der Übersichtlichkeit halber werden diese drei Aufgaben im Folgenden aber einzeln dargestellt in den Kapiteln 2a bis 2c.

Auf ein Ausbalancieren der Aufgaben-Reihenfolgen wurde bewusst verzichtet, da die Aufgabe zuerst in einer neutralen Bedingung gelöst werden sollte, bevor die dynamischen Eigenschaften gestört wurden. Die Urteils-Aufgabe wurde am Schluss dargeboten, um nicht durch ein Aktivieren einer falschen Strategie die Daten in den anderen Aufgaben zu verschlechtern. Die Untersuchungen von Schwartz (1999) mit Erwachsenen hatten gezeigt, dass die Vorstellungsleistung durch eine vorhergehende Urteils-Aufgabe massiv gestört wurde. Dies jedoch nicht im Sinne einer Annäherung der Kippwinkel an die zuvor geäußerten Annahmen, sondern einer unsystematischen Störung. Um die Aufgabe nicht für Kinder unnötig zu erschweren, wurde also die Urteils-Aufgabe nach der Handlungs-Aufgabe durchgeführt. Aufgrund der Ergebnisse in Experiment 1 waren ausserdem keine Transfereffekte von der Handlungs-Aufgabe auf die Urteils-Aufgabe zu erwarten.

Experiment 2a (Handlungs-Aufgabe neutral)

Methode

Teilnehmerinnen und Teilnehmer

An Experiment 2 nahmen 16 Kindergartenkinder teil (Altersbereich = 5;2 – 6;6, mittleres Alter = 5;10, 8 Mädchen, 8 Jungen), 16 Erstklässler (Altersbereich = 6;10 – 7;9, mittleres Alter = 7;3, 10 Mädchen, 6 Jungen), 16 Drittklässler (Altersbereich = 8;7 – 9;5, mittleres Alter = 9;0, 8 Mädchen, 8 Jungen), und 16 Erwachsene (Altersbereich = 18;0 – 31;3, mittleres Alter = 24;11, 9 Frauen, 7 Männer). Die Altersgruppen werden im Folgenden als „5-Jährige“, „7-Jährige“, „9-Jährige“ und „Erwachsene“ bezeichnet. Die Kinder wurden in Zürcher Kindergärten und Schulen rekrutiert. Die Eltern gaben ihr schriftliches Einverständnis. Die Erwachsenen waren Studierende der Universität Zürich oder stammten aus dem Bekanntenkreis der Versuchsleiterinnen.

Versuchsmaterial

Das Stimulusmaterial in Experiment 2 bestand aus 6 Gläsern gleicher Höhe. Für die Haupttrials wurden der innere Durchmesser und die Füllhöhe der Gläser systematisch auf je zwei Stufen variiert (siehe Abbildung 18). Diese Gläser entsprachen den Kombinationen aus jeweils höchster und niedrigster Faktorstufe von den drei Faktorstufen aus Experiment 1b. Zusätzlich dienten zwei mittlere Füllhöhen derselben Gläser als Probetrials.

Die zu kippenden Gläser sollten im Gegensatz zu Experiment 1b nicht in der Luft gedreht werden, sondern waren in ihrem Mittelpunkt an einer Achse befestigt, so dass sie ebenfalls in der frontoparallelen Ebene gedreht werden konnten. Damit die Drehachse und die Schraube, mit der das Glas an dieser befestigt war, keine Anhaltspunkte lieferten oder verwirrten, wurden in diesem Versuch zum Kippen opake Gläser verwendet. Hinter dem Glas befand sich eine Scheibe, die oben abgerundet und mit schwarzem Filzstoff eingekleidet war um möglichst keine visuellen Anhaltspunkte zu liefern (siehe Abbildung 19). Diese Scheibe hatte einen Durchmesser von 35 cm und diente als homogener Hintergrund, auf dem das Glas gut kontrastierte, und verbarg zugleich für die Kinder und Erwachsenen die Sicht auf eine Skala, auf welcher die Versuchsleiterin den Kippwinkel direkt in Grad ablesen konnte.

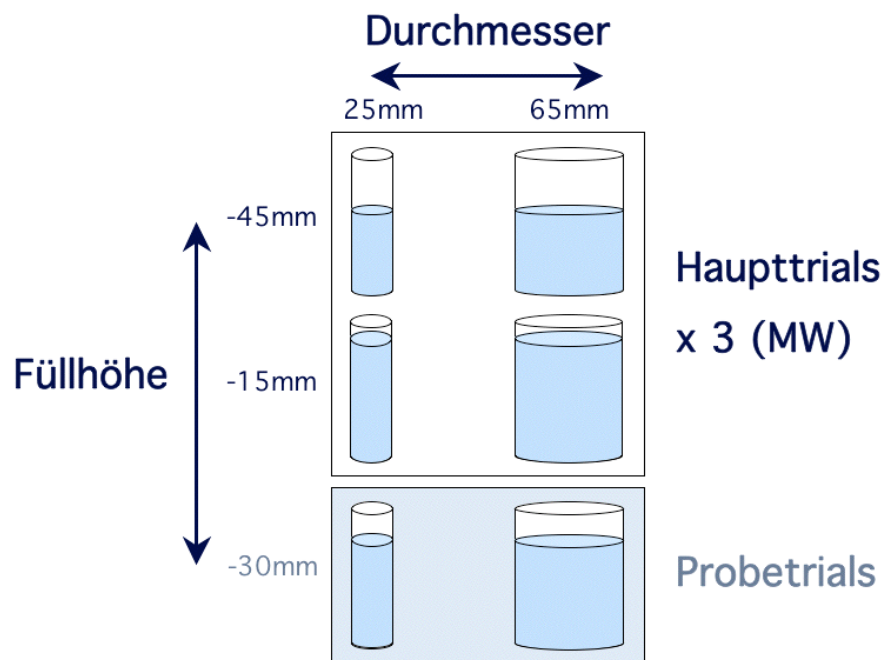


Abbildung 18. Versuchsmaterial Handlungs-Aufgabe. Zweistufige Variation des Innendurchmessers und der Füllhöhe. (Distanz zum oberen Glasrand)

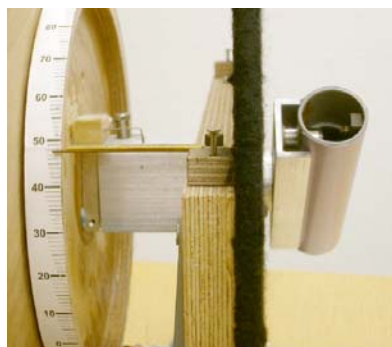


Abbildung 19. links: Versuchsaufbau Experiment 2, rechts: Skala hinter der Scheibe.

Versuchsdesign

Es wurde ein vollständiges faktorielles Messwiederholungs-Design angewendet, mit den Innersubjekt-Faktoren *Durchmesser* (2) x *Füllhöhe* (2) x *Messwiederholung* (3). Wie in Experiment 1b wurden die Messwiederholungen geblockt dargeboten und die Reihenfolge der Stimuli innerhalb der Blöcke wurde durch ein Randomisierungsprogramm hergestellt.

Im Unterschied zu Experiment 1b wurde in Experiment 2 (und den folgenden Experimenten) auf eine dritte Faktorstufe verzichtet, zugunsten einer zusätzlichen Messwiederholung, da nicht in erster Linie die Art der Integration der Faktoren Füllhöhe und Durchmesser interessierte, sondern viel mehr, ob die Dimensionen überhaupt mit in die Schätzung einfließen. Drei Messwiederholungen, über die später gemittelt werden sollte, würden ausserdem sauberere Mittelwerte ergeben und einzelne Ausreisser dürften weniger ins Gewicht fallen. Es ergaben sich dadurch etwas weniger Versuchstrials, was der Aufmerksamkeitsspanne der Kinder auch mehr entgegen kam. Es wurden 2 Probetrials und 12 Versuchstrials präsentiert. Die Reihenfolge der Probetrials wurde zwischen den Teilnehmerinnen und Teilnehmern zufällig abgewechselt.

Gemessen wurde der Winkel des Glases in Grad. Verbale Äusserungen über benutzte Strategien wurden von der Versuchsleiterin ganz am Ende des Experiments 2 erfragt und stichwortartig notiert.

Versuchsablauf

Die Versuche fanden einzeln entweder in den Schulen oder Kindergärten in einem separaten Raum statt. Während des Versuchs waren keine Elternteile oder Betreuungspersonen zugegen. Erwachsene wurden zu Hause oder im Labor untersucht. Dazu wurden die Versuchsmaterialien auf einem Tisch in jeweils gleicher Anordnung präsentiert.

Zur Verdeutlichung der Aufgabe, sollten die Kinder und Erwachsenen zuerst, mithilfe eines ca. halb gefüllten konischen Kunststoffbechers, bei sich selber ausprobieren, ein möglichst kleines Tröpfchen Wasser zu trinken. Danach wurde ein Glas an der Achse senkrecht montiert und darauf hingewiesen, dass dieses Glas leer sei und gedreht werden konnte. Links am vorderen Tischrand wurde daraufhin ein Referenz-Glas mit Wasser positioniert. Die Versuchsleiterin wies darauf hin, dass dieses Glas genau gleich gross sei wie das andere, nur eine

andere Farbe hätte und durchsichtig sei. Die Kinder und Erwachsenen sollten so tun, als wenn es im zu kippenden Glas genau gleich viel Wasser hätte und dieses drehen, bis das vorgestellte Wasser zum Rand kommen würde, aber noch nicht ausleert. Danach wurde ein zweiter Probetrial und anschliessend alle Versuchsstimuli einzeln präsentiert.

Die Versuchsleiterin notierte jeweils den Kippwinkel auf einem Protokollblatt. Die Kinder und Erwachsenen hatten die Möglichkeit, die Position des Glases beliebig oft und lange zu korrigieren. Lediglich die letzte Position wurde registriert. Die Wahl der Drehrichtung, wurde den Kindern und Erwachsenen selbst überlassen. Falls sie das Glas auswärts drehten wurde ihnen vorgeschlagen auch die andere Drehrichtung auszuprobieren und die angenehmere zu wählen und sie wurden gebeten, die Drehrichtung während des ganzen Versuchs beizubehalten. Meist wurde von Rechtshändern spontan die Richtung im Gegenuhrzeigersinn (Drehung der Hand nach „innen“) gewählt. Linkshänder bevorzugten die Richtung im Uhrzeigersinn.

Weder bei den Probetrials noch bei den Experimentaltrials wurde jemals ein mit Wasser gefülltes Glas gekippt. Der einzige Becher der gekippt wurde, war der konische Kunststoffbecher aus dem Einführungsbeispiel. Die Kinder und Erwachsenen sahen den Kunststoffbecher dabei jedoch nicht von der Seite wie bei den Experimentaltrials, die in der frontoparallelen Ebene gedreht wurden, sondern kippten die Becher gegen sich selbst. Es wurde keine Rückmeldung über die Korrektheit der gekippten Winkel gegeben und nur mit möglichst neutral betonten Bemerkungen wie „OK“, „mhm“, „guet“, versucht, die Aufmerksamkeit und Motivation der Kinder und Erwachsenen aufrecht zu erhalten.

Resultate & Interpretation

Datenaufbereitung

Die Winkel derjenigen Versuchsteilnehmerinnen und -Teilnehmer, die im Uhrzeigersinn gedreht hatten, gingen von 360° an rückwärts, während die anderen von 0° anstiegen. Die Uhrzeigersinn-Daten wurden umgerechnet, indem der Kippwinkel von 360° subtrahiert wurde, so dass die Daten vergleichbar wurden.

Gruppenanalysen

Abbildung 20 zeigt das normative Muster welches resultieren würde, wenn man die Gläser mit Wasser gefüllt kippen würde, bis das Wasser den Glasrand erreicht. Die zu kippenden Winkel werden mit zunehmender Füllhöhe kleiner (Graphen sinken nach rechts hin ab) und die zu kippenden Winkel werden mit zunehmendem Glasdurchmesser kleiner. Dies zeigt sich in parallel abgestuften und nach rechts hin absinkenden Graphen, mit dem breiten Glas unten und dem dünnen Glas oben.

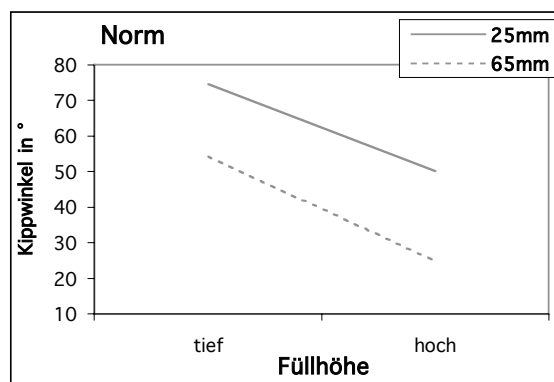


Abbildung 20. Ideales Muster der Kippwinkel in Abhängigkeit von dem Durchmesser und der Füllhöhe des Glases.

Die Abbildungen 21 bis 24 zeigen die Muster, die von den vier Altersgruppen produziert wurden. In hellgrau ist jeweils zum Vergleich das normative Muster abgebildet. Die parallel abgestuften und nach rechts hin abfallenden Graphen weisen darauf hin, dass sowohl der Durchmesser des Glases, als auch die Füllhöhe in allen Altersgruppen berücksichtigt wurden.

Es wurden für die vier Altersgruppen getrennt je eine Varianzanalyse (*Durchmesser* (2) x *Füllhöhe* (2)) gerechnet, mit den über die Messwiederholungen gemittelten Kippwinkel als abhängige Variable. Die statistischen Kennwerte der Effekte werden (auch in den folgenden Gruppenanalysen) der Übersicht halber neben den Gruppengraphiken (siehe Abbildungen 21 bis 24) berichtet. Die Analysen ergaben signifikante Haupteffekte der Faktoren *Durchmesser* und *Füllhöhe* aber keine Interaktion dieser beiden Faktoren in allen Altersgruppen.

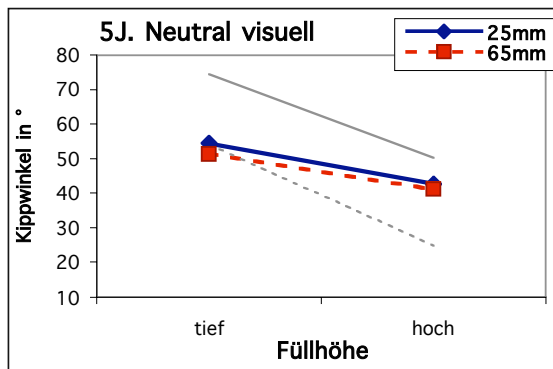


Abbildung 21. Gruppenmittelwerte der Kippwinkel der 5-Jährigen.

Durchmesser:

$$F(1, 15) = 12.13, p < .01, \eta^2 = .45$$

Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 13.20, p < .01, \eta^2 = .47$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F < 1$$

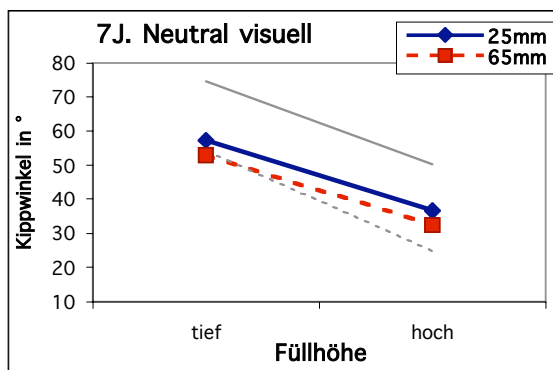


Abbildung 22. Gruppenmittelwerte der Kippwinkel der 7-Jährigen.

Durchmesser:

$$F(1, 15) = 19.51, p < .001, \eta^2 = .57$$

Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 85.62, p < .001, \eta^2 = .85$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F < 1$$

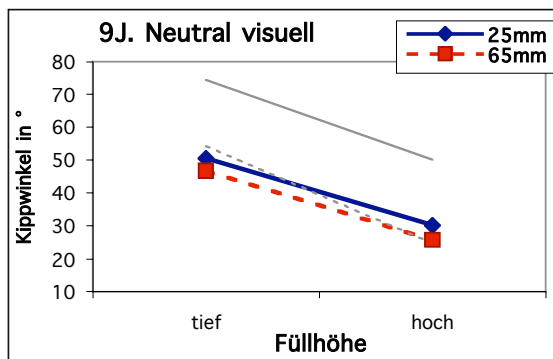


Abbildung 23. Gruppenmittelwerte der Kippwinkel der 9-Jährigen.

Durchmesser:

$$F(1, 15) = 21.23, p < .001, \eta^2 = .59$$

Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 76.97, p < .001, \eta^2 = .84$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F < 1$$

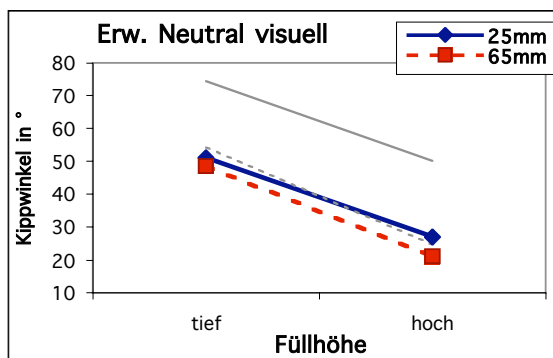


Abbildung 24. Gruppenmittelwerte der Kippwinkel der Erwachsenen.

Durchmesser:

$$F(1, 15) = 9.26, p < .01, \eta^2 = .38$$

Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 281.49, p < .001, \eta^2 = .95$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 1.80, p = .20, \eta^2 = .11$$

Eine Gesamt-ANOVA, mit über die drei Messwiederholungen gemittelten Kippwinkeln als abhängige Variablen, den Innersubjekt-Faktoren *Durchmesser* (2) und *Füllhöhe* (2) und den Zwischensubjekt-Faktoren *Altersgruppe* (4) und *Geschlecht* (2), ergab keinen Haupteffekt von *Geschlecht*, $F < 1$, und keine Interaktion von *Geschlecht* und *Durchmesser*, $F < 1$. Frauen und Mädchen differenzierten die verschiedenen Füllhöhen etwas stärker als die Männer und Jungen, $F(1, 56) = 4.81$, $p < .05$, $\eta^2 = .08$. Da aber auch bei letzteren ein starker Effekt von Füllhöhe auftrat und zu Gunsten der Interpretierbarkeit aller übrigen Effekte, wurde in den folgenden Analysen auf einen Miteinbezug des Faktors Geschlecht verzichtet.

Es wurde eine Gesamt-ANOVA gerechnet, mit über die drei Messwiederholungen gemittelten Kippwinkeln als abhängige Variablen, den Innersubjekt-Faktoren *Durchmesser* (2) und *Füllhöhe* (2) und dem Zwischensubjekt-Faktor *Altersgruppe* (4). Es zeigten sich signifikante Haupteffekte der Faktoren *Durchmesser*, $F(1, 60) = 53.88$, $p < .001$, $\eta^2 = .47$, *Füllhöhe*, $F(1, 60) = 276.26$, $p < .001$, $\eta^2 = .82$, und *Altersgruppe*, $F(3, 60) = 3.69$, $p < .05$, $\eta^2 = .16$, und eine Interaktion zwischen *Füllhöhe* und *Altersgruppe*, $F(3, 60) = 6.97$, $p < .001$, $\eta^2 = .26$. Je älter die Versuchspersonen waren, desto besser differenzierten sie die verschiedenen Füllhöhen. (Dies zeigt sich auch in steiler werdenden Graphen je älter die Kinder werden, in oben dargestellten Gruppengraphiken.) Die Interaktion zwischen den Faktoren *Durchmesser* und *Altersgruppe*, und auch alle weiteren Interaktionen erwiesen sich als nicht signifikant, alle $F < 1$. Alle Altersgruppen differenzierten also die verschiedenen Durchmesser im Mittel gleich stark, und der Effekt ging auch in die richtige Richtung.

Absolute Werte

Die Übereinstimmung der Kippwinkel mit den normativen Werten war im Mittel sehr gut. Die beiden jüngeren Altersgruppen lagen mit ihren Mittelwerten zwischen den normativen Werten für die beiden Glasdurchmesser, die älteren beiden Altersgruppen lagen etwas tiefer, eher nahe am breiten Glas. Der Haupteffekt des Faktors *Altersgruppe* auf den Kippwinkel in der oben erwähnten ANOVA zeigt, dass dieser Unterschied signifikant war. Für das niedrig gefüllte breite Glas zeigte sich in allen Altersgruppen eine nahezu perfekte Übereinstimmung.

Konsistenzen

Als Indikatoren für die Konsistenz der Daten wurde für jede Person die Pearson Korrelation zwischen jeweils zwei Messwiederholungen berechnet. Da das Design drei Messwiederholungen umfasste, ergaben sich drei Korrelationskoeffizienten, welche die Übereinstimmung von Block eins mit Block zwei, Block zwei mit Block drei, und Block eins mit Block drei beschrieben. Um einen einzelnen Kennwert zu erhalten, wurden die Korrelationskoeffizienten Fisher-transformiert und gemittelt. Tabelle 4 zeigt die mittleren Konsistenzen für die vier Altersgruppen. Die Konsistenzen stiegen an, je älter die Kinder waren, wobei die 9-Jährigen gleich hohe Konsistenzen zeigten wie die Erwachsenen. Die Konsistenz der Daten war, sowohl für Kinder als auch für Erwachsene, sehr viel höher als in Experiment 1b.

Tabelle 4

Mittlere Konsistenzen (*Pearsons r* und *Fishers Z*), und Standardabweichung von *Fishers Z*.

	NEUTRAL		
	<i>r</i>	<i>Z</i>	<i>SD</i>
5-Jährige	.55	.62	.74
7-Jährige	.87	1.32	.67
9-Jährige	.94	1.73	.69
Erwachsene	.96	1.91	.59

Eine ANOVA mit den Fisher-transformierten Konsistenzen und dem Faktor *Alter* (4) zeigte, dass die Konsistenzen mit dem Alter signifikant zunahmen, $F(3, 60) = 11.50, p < .001, \eta^2 = .37$.

Eine genauere Analyse des Einflusses der *Komplexität* der Strategie (keine, eindimensional, zweidimensional) auf die Konsistenzen (*Z*-Werte) zeigte, dass die mittleren Konsistenzen höher waren, je komplexer die angewendete Integrationsstrategie war, $F(2, 61) = 35.57, p < .001, \eta^2 = .54$. ($Z = .15$ bei nicht nachvollziehbarer Strategie, $Z = 1.52$ bei eindimensionaler Strategie, $Z = 2.09$ bei zweidimensionaler Strategie).

Einzelanalysen

Wie in Experiment 1b wurde für jede Person eine ANOVA gerechnet, hier mit den unabhängigen Variablen *Durchmesser* und *Füllhöhe* als zweistufige Inner-subjekt-Faktoren und mit über Messwiederholungen gemittelten Kippwinkeln als abhängige Variable. Kinder und Erwachsene wurden klassifiziert nach den Faktoren, die jeweils in der Einzel-ANOVA auf 10%-Niveau statistisch signifikant waren. Abbildung 25 zeigt die Ergebnisse dieser Einzelanalysen für alle vier Altersgruppen.

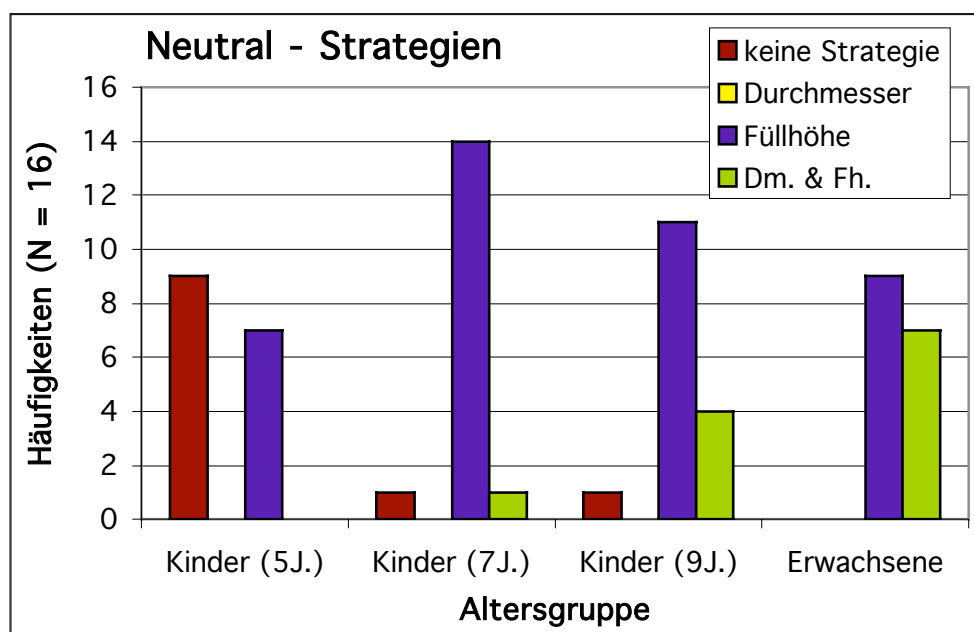


Abbildung 25. Strategien, klassifiziert aufgrund von Einzel-ANOVAs (signifikante Effekte bei $p < .10$) in den verschiedenen Altersgruppen.

Die vorherrschende Strategie auf Einzelniveau war eine alleinige Berücksichtigung des Faktors Füllhöhe. Besonders die Kinder zentrierten häufig auf diese Dimension. Ähnlich wie in Experiment 1 zeigte etwa die Hälfte der kleinsten Kinder keine nachvollziehbare Strategie. Eine 7-Jährige, 4 der 9-Jährigen und 7 Erwachsene integrierten die Information über den Durchmesser und die Füllhöhe der Gläser.

Es erfolgte eine genauere Analyse davon, in welche Richtung die Effekte des Faktors Durchmesser gingen sofern sie in den Einzelanalysen auf dem 10%-Niveau statistisch signifikant waren. Dazu wurden die Kinder und Erwachsenen

eingeteilt, je nachdem ob sie (gemittelt über die drei Messwiederholungen) bei tiefer und hoher Füllhöhe jeweils das dünne oder das dicke Glas weiter kippten. Wurde bei beiden Füllhöhen das dünne Glas weiter gekippt, galt dies als „richtige“ Strategie; wurden bei beiden Füllhöhen das dicke Glas weiter gekippt, galt dies als „falsche“ Strategie; und wurde bei den beiden Füllhöhen einmal das dünne und einmal das dicke Glas weiter gekippt, wurde dies als „inkonsistent“ klassifiziert. Es zeigte sich, dass 83.3% der Effekte konsistent in die richtige Richtung gingen, nur eine Erwachsene (8.3%) kippte fälschlicherweise das dicke Glas weiter, und ein 9-Jähriger (8.3%) kippte inkonsistent einmal das dünne Glas, einmal das dicke Glas weiter.

Diskussion

Die Resultate aus den Gruppenanalysen weisen darauf hin, dass Kinder und Erwachsene beide variierten Dimensionen, Durchmesser und Füllhöhe, berücksichtigt haben, wenn sie das Glas neutral drehen konnten. Alterseffekte bezüglich der Berücksichtigung der Füllhöhe, wonach die jüngeren Kinder die Füllhöhe weniger stark berücksichtigten als ältere Kinder, stehen im Einklang mit Ergebnissen aus Experiment 1b. Es zeigten sich auch wie in Experiment 1b keine Alterseffekte bezüglich der Berücksichtigung des Faktors Durchmesser. Alle Altersgruppen berücksichtigten die Dimension Durchmesser im Mittel gleichermassen und auch in der richtigen Richtung.

Die Analysen der Strategien der einzelnen Versuchspersonen zeigten, dass die Anzahl von Strategien, bei welchen der Durchmesser mitberücksichtigt wurde, mit dem Alter zunahm. Die Füllhöhe wurde von den 5-Jährigen am wenigsten oft berücksichtigt, danach nahm aber die Strategie der Zentrierung auf die Füllhöhe mit dem Alter ab. Die jüngste Altersgruppe zeigte auch am häufigsten nicht klassifizierbare Strategien. Angesichts der niedrigeren Konsistenzen der jüngeren Kinder wäre es denkbar, dass bei diesen schwächere Effekte des Faktors Durchmesser aufgrund von zu viel Fehlervarianz auf Einzelniveau nicht signifikant wurden, und sich erst bei mehr statistischer Power auf Gruppenebene zeigten. Es lassen sich aber nicht alle Altersunterschiede in den einzelnen Strategien auf die Konsistenz zurückführen. Die 9-Jährigen lieferten schon gleich konsistente Daten wie die Erwachsenen, berücksichtigten den Durchmesser aber doch bedeutend weniger häufig.

Auch lagen die Konsistenzen insgesamt sehr viel höher als in Experiment 1b. Dies kann einerseits auf die geringeren Freiheitsgrade in der Bewegung zurückgeführt werden und darauf, dass die Gläser nicht in der Luft gehalten werden mussten und somit einfacher genau einzustellen waren, und andererseits auf eine grössere Messgenauigkeit. Trotzdem zeigten sich in Experiment 1b häufiger Integrationsstrategien, bei denen beide Faktoren berücksichtigt wurden als hier. Verglichen mit Experiment 1 zeigten sich hier häufiger Zentrierungen auf den Faktor Füllhöhe aber weniger häufig (gar keine) Zentrierungen auf den Faktor Durchmesser. Eine Erklärung dafür könnte sein, dass die Begrenzung der Freiheitsgrade einen nachteiligen Effekt auf die Aktivierung von Alltagswissen haben könnte. Es muss allerdings berücksichtigt werden, dass im vorliegenden Experiment ein 2x2x3-Design gewählt wurde, während in Experiment 1b ein

3x3x2-Design verwendet wurde. Somit unterschieden sich die beiden Experimente in der statistische Power der Einzelanalysen, und absolute Vergleiche der Häufigkeiten der signifikanten Strategien sind nur mit Vorsicht zu ziehen.

Je älter die Kinder und Erwachsenen waren, desto weniger weit kippten sie im Mittel die Gläser und desto mehr unterschätzten sie damit die Winkel, bei denen das Wasser tatsächlich zum Glasrand kommen würde. Diese Ergebnisse stimmen überein mit früheren Befunden (Schwartz, 1999) die zeigten, dass Erwachsene zu einer Unterschätzung der Kippwinkel neigten. Vor allem unterschätzt wurde im vorliegenden Experiment, wie weit man das dünne Glas drehen kann, bevor das Wasser anfängt auszulaufen. Kinder und Erwachsene, die ganz am Schluss ausprobieren wollten, wie weit man die Gläser tatsächlich drehen konnte, zeigten oft grosses Erstaunen darüber, wie weit man das dünne Glas neigen muss, bis das Wasser zum Rand kommt. Im Alltag benutzen wir häufiger Trinkgläser mit etwas breiterem Durchmesser, die dem hier verwendeten breiteren Glas ähnlicher sind. Mit dünnen Gläsern haben wir – ausser vielleicht Chemiker die öfters mit Reagenzgläsern hantieren – eher wenig Erfahrung. Dies könnte erklären, warum die geschätzten Winkel für die breiteren Gläser viel näher an der normativen Lösung lagen als diejenigen für die dünnen.

Experiment 2b (Handlungs-Aufgabe mit Schwungrad)

Methode

Teilnehmerinnen und Teilnehmer

Es nahmen dieselben Kinder und Erwachsenen teil wie in Experiment 2a.

Versuchsmaterial

Es wurden dieselben Gläser benutzt wie in Experiment 2a. Die Gläser waren ebenfalls an der Drehachse befestigt. Am hinteren Teil der Achse konnte – nicht sichtbar für die Teilnehmerinnen und Teilnehmer – ein Schwungrad befestigt werden, welches die Trägheit der Drehbewegung erhöhte (siehe Abbildung 26). Dieses Schwungrad hatte einen Durchmesser von 32 cm und am äusseren Rand waren in einem Radius von 15 cm zum Drehpunkt 12 Gewichte von je 560 g befestigt, was in einem Gesamtgewicht von 6.72 kg resultierte.

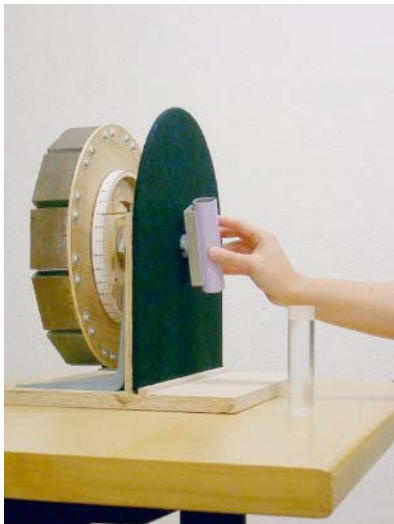


Abbildung 26. Versuchsaufbau mit Schwungrad.

Versuchsdesign

Das Versuchsdesign war identisch mit Experiment 2a. Gemessen wurde der Kippwinkel in Grad. Verbale Äusserungen über Strategien wurden am Ende von Experiment 2 erfragt und stichwortartig notiert.

Versuchsablauf

Die Versuchsleiterin montierte das Schwungrad im Beisein der Teilnehmerinnen und Teilnehmer. Sie wies darauf hin, dass sich jetzt an der Apparatur etwas ändern und das Drehen des Glases anders anfühlen werde. Es wurden wieder zwei Probetrials durchgeführt, damit sich die Kinder und Erwachsenen etwas an das neue Drehmoment gewöhnen konnten. Danach folgten 12 Versuchstrials. In dieser Aufgabe wurde der anvisierte Kippwinkel oft überschossen und es erfolgten daher mehr Korrekturbewegungen. Aus diesem Grund, und weil sich das Schwungrad nach dem Loslassen langsam wieder in die 0°-Position zurück bewegte, wurden die Kinder und Erwachsenen gebeten, zu sagen, wenn sie mit dem Einstellen fertig waren bzw. das Wasser genau beim Rand wäre.

Resultate & Interpretation

Gruppenanalysen

Die Abbildungen 27 bis 30 zeigen die Muster, die von den vier Altersgruppen produziert wurden. Die parallel abgestuften und nach rechts hin abfallenden Graphen der 5-Jährigen, 9-Jährigen und Erwachsenen deuten an, dass sie sowohl den Durchmesser als auch die Füllhöhe berücksichtigt haben. Die Graphen der 5-Jährigen lassen jedoch keine Differenzierung des Faktors Füllhöhe erkennen.

Für die Altersgruppen getrennte Varianzanalysen (*Durchmesser* (2) x *Füllhöhe* (2)) mit den über die Messwiederholungen gemittelten Daten, ergab signifikante Haupteffekte des Faktors *Füllhöhe* in allen Altersgruppen. Der Faktor *Durchmesser* war bei den 7-Jährigen und Erwachsenen signifikant, bei den 5- und 9-Jährigen zeigte sich jedoch kein Effekt, bzw. nur eine Tendenz. Es zeigte sich keine statistisch signifikante Interaktion der beiden Faktoren *Durchmesser* und *Füllhöhe*.

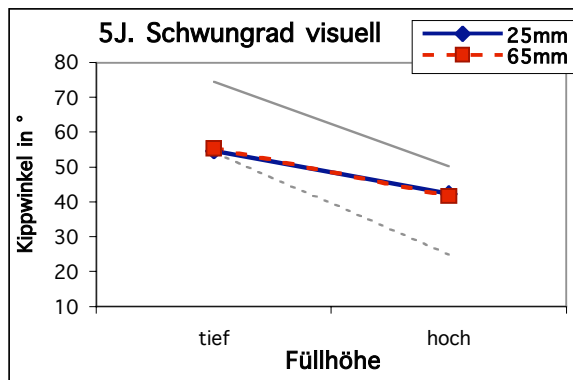


Abbildung 27. Gruppenmittelwerte der Kippwinkel der 5-Jährigen.

Durchmesser:

$$F < 1$$

Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 12.61, p < .01, \eta^2 = .46$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F < 1$$

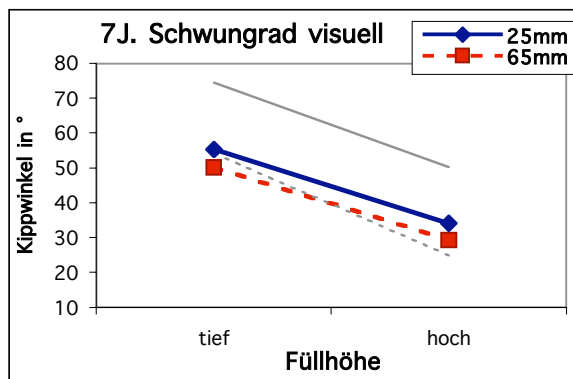


Abbildung 28. Gruppenmittelwerte der Kippwinkel der 7-Jährigen.

Durchmesser:

$$F(1, 15) = 28.21, p < .001, \eta^2 = .65$$

Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 55.54, p < .001, \eta^2 = .79$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F < 1$$

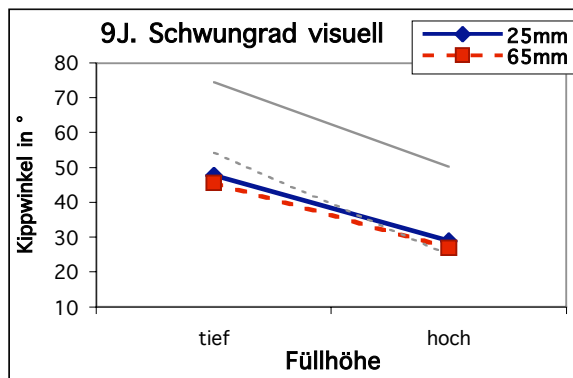


Abbildung 29. Gruppenmittelwerte der Kippwinkel der 9-Jährigen.

Durchmesser:

$$F(1, 15) = 4.42, p = .05, \eta^2 = .23$$

Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 117.78, p < .001, \eta^2 = .89$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F < 1$$

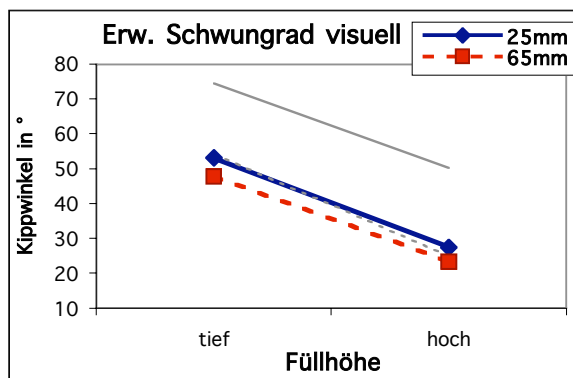


Abbildung 30. Gruppenmittelwerte der Kippwinkel der Erwachsenen.

Durchmesser:

$$F(1, 15) = 11.39, p < .01, \eta^2 = .43$$

Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 157.37, p < .001, \eta^2 = .91$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F < 1$$

Wie in Experiment 2a ergab die nachfolgende Gesamt-ANOVA unter Einbezug des Faktors *Geschlecht*, eine Interaktion zwischen *Geschlecht* und *Füllhöhe*, $F(1, 56) = 4.70$, $p < .05$, $\eta^2 = .08$. Da aber bei beiden Geschlechtern ein starker Effekt von Füllhöhe auftrat, und zu Gunsten der Interpretierbarkeit aller übrigen Effekte, wurde in den folgenden Analysen auf einen Miteinbezug des Faktors *Geschlecht* verzichtet.

Es wurde eine Gesamt-ANOVA gerechnet, mit über die Messwiederholungen gemittelten Kippwinkeln als abhängige Variablen, den Innersubjekt-Faktoren *Durchmesser* (2) und *Füllhöhe* (2) und dem Zwischensubjekt-Faktor *Altersgruppe* (4). Es zeigten sich signifikante Haupteffekte der Faktoren *Durchmesser*, $F(1, 60) = 27.82$, $p < .001$, $\eta^2 = .32$, *Füllhöhe*, $F(1, 60) = 214.71$, $p < .001$, $\eta^2 = .78$, und *Altersgruppe*, $F(3, 60) = 3.69$, $p < .05$, $\eta^2 = .15$, und Interaktionen zwischen *Durchmesser* und *Altersgruppe*, $F(3, 60) = 3.64$, $p < .05$, $\eta^2 = .15$, und *Füllhöhe* und *Altersgruppe*, $F(3, 60) = 4.32$, $p < .01$, $\eta^2 = .18$. Je älter die Kinder und Erwachsenen waren, desto besser differenzierten sie die verschiedenen Füllhöhen und die verschiedenen Durchmesser. (Dies zeigt sich auch in steiler werdenden und deutlicher abgestuften Graphen in oben dargestellten Gruppengraphiken.) Alle übrigen Interaktionen erwiesen sich als nicht signifikant, alle $F < 1$.

Absolute Werte

Wie in Experiment 2a lagen die Kippwinkel etwa im normativen Bereich. Wieder zeigten sich kleinere Kippwinkel, je älter die Kinder wurden. Der oben erwähnte Haupteffekt des Faktors *Altersgruppe* auf den Kippwinkel zeigt, dass dieser Unterschied statistisch signifikant war.

Vergleich Experiment 2a – 2b

Um die beiden Aufgaben mit und ohne Schwungrad zu vergleichen, wurde eine ANOVA gerechnet, mit den Innersubjekt-Faktoren *Schwungrad* (2: vorhanden vs. nicht vorhanden) *Durchmesser* (2) und *Füllhöhe* (2) und dem Zwischensubjekt-Faktor *Altersgruppe* (4). Es zeigten sich keine signifikanten Interaktionen des Faktors *Schwungrad* mit irgendeinem andern Faktor, alle $p > .15$, $\eta^2 < .09$. Die sich in obigen Graphiken und Gruppenanalysen andeutenden Unterschiede zwischen den Experimenten 2a und 2b erwiesen sich also in dieser vergleichenden Analyse als statistisch nicht allzu bedeutsam.

Konsistenzen

Wie in Experiment 2a wurden die Korrelationskoeffizienten Fisher-transformiert und gemittelt. Tabelle 5 zeigt die mittleren Konsistenzen für alle Altersgruppen.

Tabelle 5

Mittlere Konsistenzen (*Pearsons r* und *Fishers Z*), und Standardabweichung von *Fishers Z*.

	mit SCHWUNGRAD		
	<i>r</i>	<i>Z</i>	<i>SD</i>
5-Jährige	.64	.76	1.01
7-Jährige	.87	1.34	.71
9-Jährige	.88	1.39	.44
Erwachsene	.97	2.10	.54

Die Konsistenzen waren vergleichbar mit denen aus Experiment 2a. Eine ANOVA mit den Faktoren *Schwungrad* (2: vorhanden vs. nicht vorhanden) und *Altersgruppe* (4) und den mittleren Konsistenzen als abhängige Variable zeigte, dass das Schwungrad keinen Einfluss darauf hatte, wie konsistent die Kippwinkel produzieren werden konnten, $F < 1$, auch nicht in Interaktion mit dem Alter, $F(3, 60) = 1.26$, $p = .30$, $\eta^2 = .06$.

Eine genauere Analyse des Einflusses der *Komplexität* der Strategie (3: keine, eindimensional, zweidimensional) auf die Konsistenzen (Z-Werte) zeigte, dass die mittleren Konsistenzen höher waren, je komplexer die angewendete Integrationsstrategie war, $F(2, 61) = 28.77$, $p < .001$, $\eta^2 = .49$. ($Z = -.09$ bei nicht nachvollziehbarer Strategie, $Z = 1.51$ bei eindimensionaler Strategie, $Z = 1.85$ bei zweidimensionaler Strategie).

Einzelanalysen

Wie in Experiment 2a wurde für jede einzelne Person eine ANOVA gerechnet, mit den unabhängigen Variablen *Durchmesser* und *Füllhöhe* als zweistufige

Innersubjekt-Faktoren und den über die Messwiederholungen gemittelten Kippwinkeln als abhängige Variable. Die Kinder und Erwachsenen wurden klassifiziert nach den Faktoren, die jeweils in der Einzel-ANOVA auf 10%-Niveau statistisch signifikant waren. Abbildung 31 zeigt die Ergebnisse dieser Einzel-ANOVAs für die vier Altersgruppen.

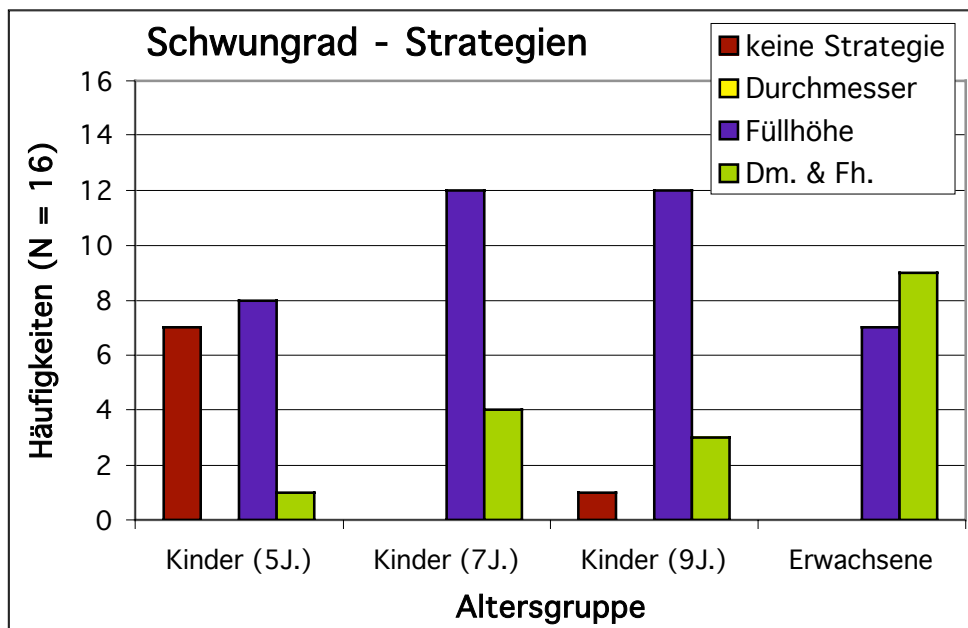


Abbildung 31. Strategien, klassifiziert aufgrund von Einzel-ANOVAs (signifikante Effekte bei $p < .10$) in den verschiedenen Altersgruppen.

Bei den Kindern zeigte sich ein ähnliches Bild wie in Experiment 2a. Die Hälfte der 5-Jährigen, 12 der 7-Jährigen und 12 der 9-Jährigen zeigten eine Zentrierung auf den Faktor Füllhöhe. Bei den Kindern dominierte diese Strategie, bei den Erwachsenen überwog jedoch eine zweidimensionale Strategie.

Eine Analyse (siehe Experiment 2a) der Richtung dieser Effekte des Faktors Durchmesser zeigte, dass 82.4% der Effekte konsistent in die richtige Richtung gingen, eine 9-Jährige und eine Erwachsene (dieselbe wie schon in Experiment 2a) kippte konsistent das dicke Glas weiter, und eine 7-Jährige (5.9%) kippte inkonsistent einmal das dünne Glas, einmal das dicke Glas weiter.

Diskussion

Je älter die Kinder waren, desto besser differenzierten sie die verschiedenen Füllhöhen und die verschiedenen Durchmesser. Die Resultate der Gruppenanalysen weisen darauf hin, dass 7-Jährige und Erwachsene, und tendenziell auch 9-Jährige, beide variierten Dimensionen berücksichtigt haben. Das im Vergleich zu Experiment 2a durch das Schwungrad induzierte zusätzliche Drehmoment hatte also keine merkliche Verschlechterung ihre Performanz zur Folge. Bei den 5-Jährigen war jedoch sowohl statistisch als auch in den Gruppengraphiken keine Differenzierung der Kippwinkel für die verschiedenen Durchmesser zu erkennen. Die 5-Jährigen schienen also mit zusätzlichem Schwungrad die Dimension Durchmesser nicht zu berücksichtigen, im Gegensatz zu Experiment 2a, wo dieser Faktor mit einer Effektstärke von $\eta^2 = .45$ signifikant war. Auf die Konsistenz der Kippwinkel der Kinder und Erwachsenen hatte das Schwungrad jedoch keinen Effekt.

Auf Einzelniveau zeigten sich mit Schwungrad, im Vergleich zum neutralen Drehen in Experiment 2a, insgesamt mehr Berücksichtigungen des Durchmessers (17 vs. 12). Bei den Erwachsenen dominierte diese Strategie mit Schwungrad sogar und sie berücksichtigen häufiger beide Dimensionen, als dass sie auf die Füllhöhe zentrierten. Die Effekte des Faktors Durchmesser gingen etwa zu einem gleichen Prozentsatz in die richtige Richtung wie in Experiment 2a.

Das Schwungrad hatte folglich vor allem auf die 5-jährigen Kinder einen grösseren und nachteiligeren Effekt als auf die älteren Kinder und Erwachsenen. Das zusätzliche Drehmoment störte die Drehbewegung und machte zusätzliche Korrekturbewegungen nötig. Es wäre einerseits möglich, dass die jüngeren Kinder davon mehr betroffen waren, da sie weniger Kraft hatten, oder dass sie das Glas schneller drehten als die älteren Kinder, und daher mehr abbremsen und Korrekturbewegungen machen mussten. Dieser Annahme widerspricht allerdings das Ergebnis, dass die 5-Jährigen nicht generell inkonsistenter kippten als in Experiment 2a. Dies deutet darauf hin, dass die 5-Jährigen nicht generell ungenauer kippten, sondern dass die 5-Jährigen spezifisch in der Berücksichtigung des Durchmessers gestört wurden. Daher lässt sich aus den Altersunterschieden vielmehr schliessen, dass die 5-Jährigen noch mehr auf Alltagserfahrung angewiesen sind. Die unnatürliche Dynamik der Bewegung des Glases mit dem zusätzlichen Drehmoment könnte ein Aktivieren von Alltagserfahrung und motorischen Schemata gestört oder gar verhindert haben. Wenn wir davon ausgehen,

dass die Berücksichtigung des Durchmessers als Indikator für erfolgreiche Vorstellungstätigkeit gesehen werden kann, dann können wir weiter schlussfolgern, dass durch die unnatürliche Bewegung die Vorstellung des Wassers im Glas gestört wurde und dass bei kleinen Kindern Vorstellungen noch verstärkt mit motorischer Aktivität gekoppelt sind. Dieser Hypothese wird in Experiment 4 noch genauer nachgegangen.

Experiment 2c (Urteils-Aufgabe)

Methode

Teilnehmerinnen und Teilnehmer

Es nahmen dieselben Kinder und Erwachsenen teil wie in Experiment 2a.

Versuchsmaterial

Es wurden dieselben Gläser benutzt wie in Experiment 2a. Die Gläser waren ebenfalls an der Drehachse befestigt. Der Kippwinkel wurde mittels einer Wäscheklammer angezeigt, die in einem radialen Abstand von 12 cm an die schwarze Scheibe geklemmt werden konnte (siehe Abbildung 32). Ein roter Längs-Strich auf der Wäscheklammer verdeutlichte deren Richtung. Ein kleiner Metallstift auf der Hinterseite der Wäscheklammer vereinfachte das Ablesen des angegebenen Winkels auf einer Skala hinter der Scheibe.

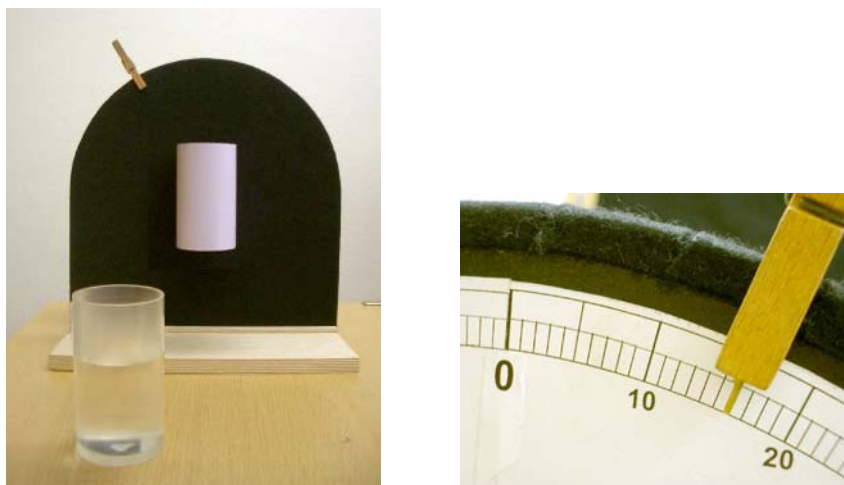


Abbildung 32. Versuchsaufbau der Urteils-Aufgabe links: Versuchsperspektive, rechts: Skala auf der Hinterseite der Scheibe.

Versuchsdesign

Das Versuchsdesign war identisch mit Experiment 2a. Gemessen wurde der Winkel in Grad, in welchem die Klammer positioniert wurde. Verbale Äußerungen über benutzte Strategien wurden am Ende des Experiments stichwortartig von der Versuchleiterin notiert.

Versuchsablauf

Die Kinder und Erwachsenen wurden instruiert, dass sie jetzt das Glas nicht mehr drehen, sondern mithilfe einer Wäscheklammer anzeigen sollten, wie weit sie das Glas drehen würden. Die Klammer sollte genau in der Verlängerung des Glases, also genau auf seine Mitte zielend an der Kante der Scheibe befestigt werden. Die Versuchsleiterin demonstrierte dies für das aufrecht stehende Glas in der 0° Position. Die Kinder und Erwachsenen wurden dann gebeten, anhand des ersten Probetrials die Klammer dorthin zu stecken, bis wohin man das Glas drehen müsste, wenn es gleich viel Wasser wie das Referenzglas enthalten würde. Falls sie das nicht spontan taten, wurden die Kinder und Erwachsenen gebeten, die Klammer in der Richtung zu befestigen, in die sie auch in Experiment 2a und 2b das Glas gedreht hatten. Anschliessend wurde bei diesem ersten Probetrial das Glas von der Versuchsleiterin in die Richtung der Klammer gedreht, um Missverständnisse in der Instruktion auszuschliessen und der Versuchsperson noch einmal eine Rückmeldung darüber zu geben, was ihre Angabe bedeutete. Der zweite Probetrial und die 12 anschliessenden Versuchstrials erfolgten ohne Rückmeldung. Das Glas blieb immer auf der 0° Position stehen.

Am Ende des Experiments wurden die Kinder und Erwachsenen gefragt, ob sie – bezogen auf das ganze Experiment 2 bzw. die einzelnen Teilaufgaben – irgendeine Strategie oder einen Trick angewendet, oder etwas Spezielles überlegt oder beachtet hätten. Falls keine Antwort kam wurde nachgefragt, ob die Kinder denn alle Gläser gleich gedreht hätten, oder ob sie bei einigen weiter oder weniger weit gedreht hätten und wenn ja bei welchen. Die Antworten wurden von der Versuchsleiterin stichwortartig auf dem Protokollblatt notiert.

Resultate & Interpretation

Die Abbildungen 33 bis 36 zeigen die Muster, die von den vier Altersgruppen produziert wurden. Die aufeinander liegenden und nach rechts hin abfallenden Graphen weisen darauf hin, dass alle Altersgruppen überwiegend die Dimension Füllhöhe in ihre Urteile einfliessen liessen.

Für die Altersgruppen getrennte Varianzanalysen (*Durchmesser* (2) x *Füllhöhe* (2)), mit über die Messwiederholung gemittelten Daten, ergaben signifikante Haupteffekte des Faktors *Füllhöhe* in allen Altersgruppen. Die Haupteffekte des Faktors *Durchmesser* und sämtliche Interaktionen zwischen *Füllhöhe* und *Durchmesser* erwiesen sich in allen Altersgruppen als nicht signifikant.

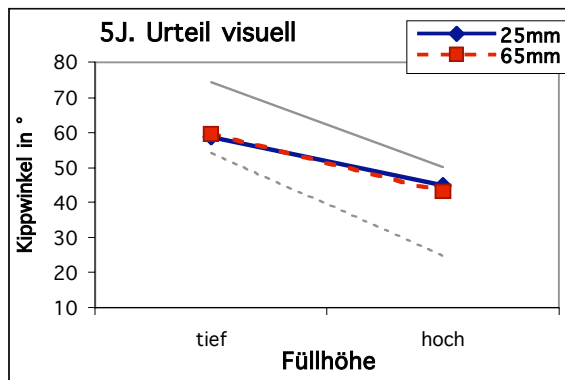


Abbildung 33. Gruppenmittelwerte der Kippwinkel der 5-Jährigen.

Durchmesser:

$$F < 1$$

Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 11.46, p < .01, \eta^2 = .43$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 1.22, p = .29, \eta^2 = .08$$

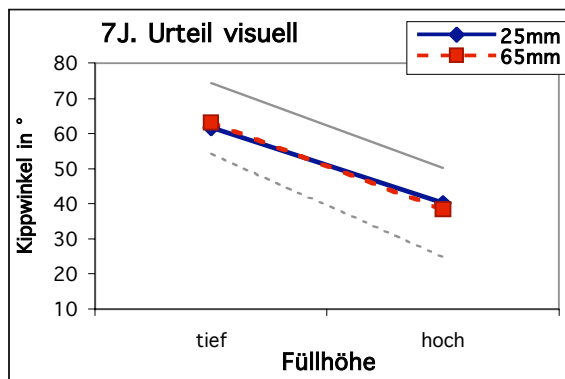


Abbildung 34. Gruppenmittelwerte der Kippwinkel der 7-Jährigen.

Durchmesser:

$$F < 1$$

Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 46.23, p < .001, \eta^2 = .76$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 2.19, p = .16, \eta^2 = .13$$

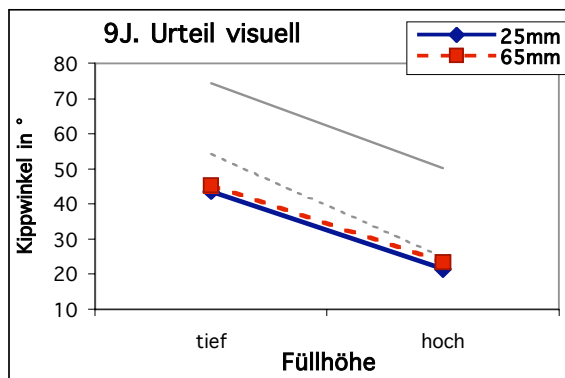


Abbildung 35. Gruppenmittelwerte der Kippwinkel der 9-Jährigen.

Durchmesser:

$$F(1, 15) = 2.21, p = .16, \eta^2 = .13$$

Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 84.02, p < .001, \eta^2 = .85$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F < 1$$

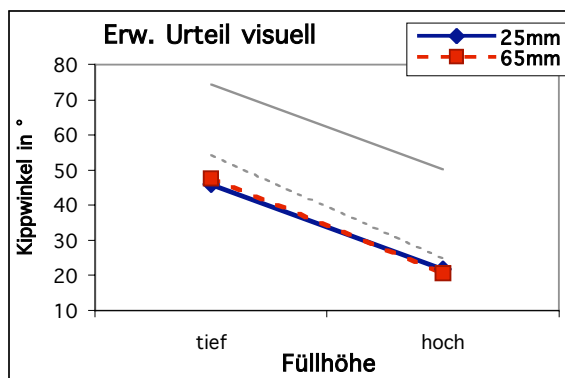


Abbildung 36. Gruppenmittelwerte der Kippwinkel der Erwachsenen.

Durchmesser:

$$F < 1$$

Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 150.17, p < .001, \eta^2 = .91$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 3.29, p = .09, \eta^2 = .18$$

Die nachfolgende Gesamt-ANOVA unter Einbezug des Faktors *Geschlecht*, ergab weder einen Haupteffekt noch eine Interaktion von *Geschlecht* mit *Füllhöhe* oder *Durchmesser*, alle $p > .08$, $\eta^2 < .06$. Daher und zu Gunsten der Interpretierbarkeit aller übrigen Effekte, wurde im Folgenden auf einen Miteinbezug des Faktors *Geschlecht* verzichtet.

Es wurde eine Gesamt-ANOVA gerechnet, mit den über die Messwiederholungen gemittelten Winkel als abhängige Variablen, den Innersubjekt-Faktoren *Durchmesser* (2) und *Füllhöhe* (2) und dem Zwischensubjekt-Faktor *Altersgruppe* (4). Es zeigten sich signifikante Haupteffekte der Faktoren *Füllhöhe*, $F(1, 60) = 176.56$, $p < .001$, $\eta^2 = .75$, und *Altersgruppe*, $F(3, 60) = 7.18$, $p < .001$, $\eta^2 = .26$. Der Haupteffekt des Faktors *Durchmesser*, $F < 1$, wie auch die Interaktionen zwischen *Durchmesser* und *Altersgruppe*, $F < 1$, und zwischen *Füllhöhe* und *Altersgruppe*, $F(3, 60) = 1.90$, $p = .14$, $\eta^2 = .09$, erwiesen sich als nicht signifikant. Die verschiedenen Füllhöhen wurden demnach von allen Altersgruppen gleich stark differenziert, die verschiedenen Durchmesser wurden jedoch durchwegs nicht beachtet. Es zeigte sich hier zudem eine nicht sehr effektstarke aber statistisch signifikante Interaktion zwischen *Durchmesser* und *Füllhöhe*, $F(1, 60) = 4.20$, $p < .05$, $\eta^2 = .07$, die sich in einem leichten Überkreuzen der Geraden in den obigen Abbildungen zeigt. Die Interaktion zwischen *Durchmesser*, *Füllhöhe*, und *Altersgruppe* war nicht signifikant, $F < 1$.

Absolute Werte

Ähnlich wie in den Experimenten 2a und 2b lagen die jüngeren beiden Altersgruppen mit ihren Winkeln zwischen den normativen Werten für die beiden Durchmesser, die Winkel der 9-Jährigen und Erwachsenen jedoch lagen im Mittel etwas zu tief. Der Haupteffekt des Faktors *Altersgruppe* in der oben beschriebenen ANOVA zeigt, dass dieser Unterschied statistisch signifikant ist.

Vergleich Experiment 2a – 2c

Um die Urteils-Aufgabe mit der neutralen Handlungs-Aufgabe aus Experiment 2a zu vergleichen, wurde eine ANOVA gerechnet, mit den Innersubjekt-Faktoren *Aufgabe* (2: Kippen vs. Urteil) *Durchmesser* (2) und *Füllhöhe* (2) und dem Zwischensubjekt-Faktor *Altersgruppe* (4). Die Analyse ergab eine signifikante Interaktion der Faktoren *Aufgabe* und *Durchmesser*, $F(1, 60) = 41.26$, $p < .001$, $\eta^2 = .41$. Die verschiedenen Durchmesser wurden also in der Handlungs-

Aufgabe signifikant stärker berücksichtigt als in der Urteils-Aufgabe, und dies unabhängig vom Alter, $F(3, 60)=1.79$, $p = .16$, $\eta^2 = .08$. Die in den Gruppenanalysen gefundenen Unterschiede zwischen den Experimenten 2a und 2c bezüglich der Berücksichtigung des Faktors Durchmesser erwies sich also in dieser vergleichenden Analyse als statistisch signifikant und bedeutsam. Der Haupteffekt des Faktors *Aufgabe* war nicht signifikant, $F < 1$, was bedeutet, dass kein Unterschied zwischen den beiden Aufgaben festzustellen war bezüglich der absoluten Grösse der Winkel. Es zeigten sich auch keine weiteren Interaktionen des Faktors *Aufgabe* mit irgendeinem andern Faktor, alle $p > .14$, $\eta^2 < .09$.

Konsistenzen

Wie in Experiment 2a wurden die Korrelationskoeffizienten Fisher-transformiert und gemittelt. Tabelle 6 zeigt die mittleren Konsistenzen für vier Altersgruppen.

Tabelle 6

Mittlere Konsistenzen (*Pearsons r* und *Fishers Z*), und Standardabweichung von *Fishers Z*.

	URTEIL		
	<i>r</i>	<i>Z</i>	<i>SD</i>
5-Jährige	.37	.39	1.03
7-Jährige	.86	1.29	.63
9-Jährige	.92	1.57	.68
Erwachsene	.98	2.21	0.59

Während die 7-Jährigen, 9-Jährigen und Erwachsenen etwa gleich konsistent urteilten wie sie in Experiment 2a und 2b gekippt hatten, zeigten die 5-Jährigen hier leicht niedrigere Konsistenzen in ihren Urteilen. Eine ANOVA mit den mittleren Konsistenzen als abhängige Variable und den Faktoren *Aufgabe* und *Altersgruppe* zeigte jedoch, dass die Konsistenzen in der Urteils-Aufgabe sich nicht signifikant von denjenigen in der Handlungs-Aufgabe von Experiment 2a unterschieden, $F < 1$, auch nicht in Interaktion mit dem Alter, $F(3, 60) = 1.13$, $p = .35$, $\eta^2 = .05$.

Eine genauere Analyse des Einflusses der *Komplexität* der Strategie (3: keine, eindimensional, zweidimensional) auf die Konsistenzen (Z-Werte) zeigte, dass die mittleren Konsistenzen höher waren, je komplexer die angewendete Integrationsstrategie war, $F(2, 61) = 32.72$, $p < .001$, $\eta^2 = .52$. ($Z = -.27$ bei nicht nachvollziehbarer Strategie, $Z = 1.52$ bei eindimensionaler Strategie, $Z = 2.21$ bei zweidimensionaler Strategie).

Einzelanalysen

Wie in Experiment 2a wurde für jede Person eine ANOVA gerechnet, mit den unabhängigen Variablen *Durchmesser* und *Füllhöhe* als zweistufige Innersubjekt-Faktoren und den über die Messwiederholungen gemittelten Winkeln als abhängige Variable. Die Kinder und Erwachsenen wurden klassifiziert nach den Faktoren, die jeweils in der Einzel-ANOVA auf 10%-Niveau statistisch signifikant waren. Abbildung 37 zeigt die Ergebnisse dieser Einzel-ANOVAs für die vier Altersgruppen.

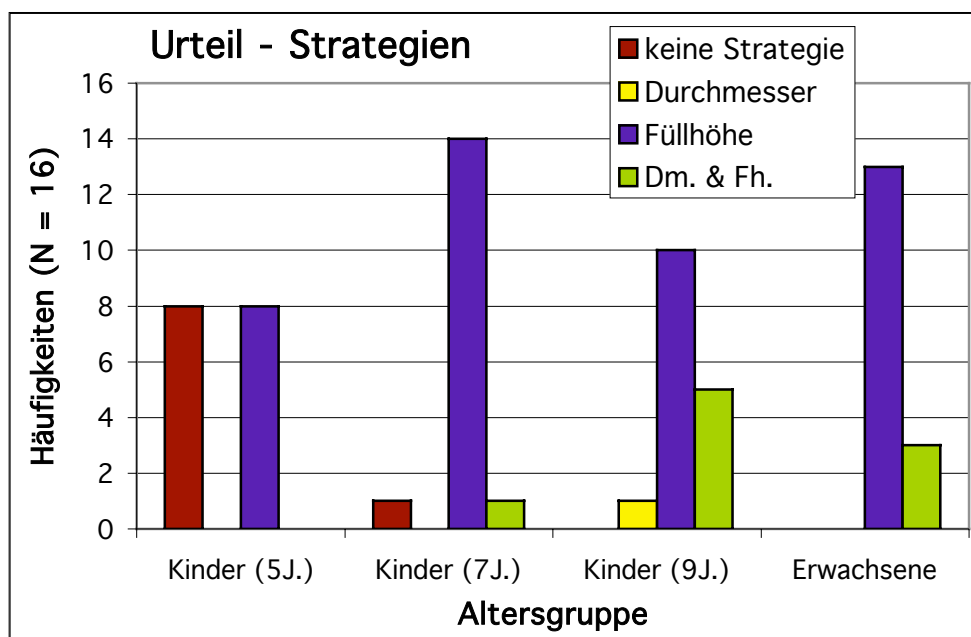


Abbildung 37. Strategien, klassifiziert aufgrund von Einzel-ANOVAs (signifikante Effekte bei $p < .10$) in den verschiedenen Altersgruppen.

Bei den Kindern zeigte sich ein ähnliches Bild wie in Experiment 2a. Die Hälfte der 5-Jährigen, 14 der 7-Jährigen und 10 der 9-Jährigen zeigten eine Zentrierung auf den Faktor Füllhöhe. Die Erwachsenen zeigten jedoch, im Vergleich zum

neutralen Drehen in Experiment 2a, hier mehr eindimensionale Strategien der Zentrierungen auf den Faktor Füllhöhe, auf Kosten der weniger häufigeren Integration beider Dimensionen. Ein 9-Jähriger zentrierte auf den Faktor Durchmesser.

Eine genauere Analyse (siehe Experiment 2a) der Richtung der signifikanten Effekte des Faktors Durchmesser ergab jedoch, dass nur 30% der Kindern und Erwachsenen den Durchmesser konsistent der Norm entsprechend berücksichtigten. Zu 50% wurde der Durchmesser falsch herum und zu 20% in inkonsistenter Art und Weise berücksichtigt. Folglich gehen nur 3 der oben gelb und grün dargestellten 10 Berücksichtigungen des Faktors Durchmesser in die richtige Richtung.

Diskussion

Nach den Daten aus den Einzelanalysen zu urteilen, zeigte sich auf den ersten Blick nur bei den Erwachsenen eine leichte Verschlechterung gegenüber der Handlungs-Aufgabe, im Sinne von mehr eindimensionalen Strategien. Eine genauere Analyse der Richtung der signifikanten Effekte des Faktors Durchmesser ergab jedoch, dass nur ein kleiner Anteil dieser Effekte in die richtige Richtung ging. Dieses Ergebnis kann so interpretiert werden, dass die Berücksichtigungen des Durchmessers vermutlich nicht auf korrekten Vorstellungen des Wassers und der Drehbewegung beruhten, sondern auf abstrakteren Überlegungen über das Problem. Falsches oder gar nicht vorhandenes formales Wissen über den Einfluss des Durchmessers, wie es sich in der Auswahl-Aufgabe von Experiment 1b gezeigt hatte, könnte für die vielen Effekte in falscher Richtung verantwortlich sein, denn auch in der Auswahl-Aufgabe waren nur etwa 30 bis 50% der Antworten (je nach Altersgruppe) richtig. Im Gegensatz zur Auswahl-Aufgabe war hier die abhängige Variable ein nonverbales Mass und intervallskaliert. Eine Vorstellungsstrategie wäre hier eher zu erwarten gewesen, da der Winkel als abhängige Variabel und auch die Instruktion stärker eine Vorstellungsstrategie suggerieren könnten als in der Auswahl-Aufgabe. Trotzdem zeigten sich vergleichbare Resultate, was darauf hinweist, dass auch hier keine – oder zumindest keine erfolgreiche – Vorstellungsstrategie angewendet wurde.

Die Resultate der Gruppenanalysen deuten darauf hin, dass Kinder und Erwachsene in dieser Urteils-Aufgabe vorwiegend eine eindimensionale Strategie angewendet haben. Die verschiedenen Füllhöhen wurden von allen Alters-

gruppen gleich stark differenziert, die verschiedenen Durchmesser wurden jedoch durchwegs nicht beachtet. Damit unterschied sich diese Urteils-Aufgabe signifikant von der Handlungs-Aufgabe (Experiment 1b und 2a), in der beide Faktoren berücksichtigt wurden. Die Konsistenz der Daten war jedoch nicht niedriger als in der Handlungs-Aufgabe, was darauf hinweist, dass dieser Nichteffekt des Durchmessers in der Urteils-Aufgabe nicht aufgrund von grösserem Rauschen in den Daten erklärt werden kann.

Bei einer eindimensionalen Strategie, wie sie sich vorwiegend in dieser Urteils-Aufgabe zeigte, müssen nur zwei verschiedene Winkel angezeigt werden. Da wäre es ein Leichtes, sich diese zwei Winkel, beziehungsweise Positionen am Scheibenrand, zu merken und exakt zu reproduzieren. Es wären daher theoretisch bei einer eindimensionalen Strategie eher höhere Konsistenzen zu erwarten als bei einer komplexeren Integrationsstrategie. Ein Vergleich der Anzahl berücksichtigter Dimensionen mit den Konsistenzen zeigte jedoch, dass dies nicht der Fall war. Im Gegenteil, die Konsistenzen waren sogar höher, je komplexer die Strategie war. Dies gilt nicht nur für die Urteils-Aufgabe, sondern auch für die Handlungs-Aufgabe, denn in Experiment 2a und 2b ergab sich ebenfalls ein positiver Zusammenhang zwischen der Komplexität der Strategie und der Konsistenz.

Ähnlich wie bei den Aufgaben, in denen das Glas tatsächlich gekippt wurde, waren auch in dieser Urteils-Aufgabe die Winkel der 9-Jährigen und Erwachsenen im Mittel etwas zu tief, und auch hier lagen die Winkel näher bei den normativen Werten des breiten Glases. Die mittleren Winkel der jüngeren Kinder lagen absolut gesehen im Bereich der Norm, das heisst sie lagen zwischen den normativen Winkeln für die breiten und dünnen Gläser. Die jüngeren Kinder unterschätzten also die Kippwinkel weniger stark als die älteren Kinder und Erwachsenen. Die Tatsache, dass dieser Altersunterschied auch in dieser Urteils-Aufgabe auftrat, deutet darauf hin, dass diese Unterschätzung der älteren Kinder und Erwachsenen nicht nur auf motorischen Faktoren basiert, sondern eher kognitive Faktoren dafür verantwortlich sind. Möglicherweise wurden hier sowohl die Kippwinkel als auch die Urteile durch eine fälschliche Annahme darüber beeinflusst, wie weit man ein Glas kippen kann, bevor es ausleert. Diese Interpretation scheint plausibel, wenn man die spontanen Reaktionen berücksichtigt, welche Kinder und Erwachsenen oft zeigten, wenn sie nach dem Experiment die vollen Gläser kippten. Die meisten zeigten sich sehr erstaunt darüber, wie weit man (vor allem die dünnen) Gläser tatsächlich drehen konnte.

Experiment 3

Kurzer Überblick

Frühere Studien zur Wasserglas-Kipp-Aufgabe (Experiment 1 & 2 dieser Arbeit; Black und Schwarz, 1996) haben gezeigt, dass Kinder bis zu einem Alter von etwa 6 Jahren die *Füllhöhe* des Glases weniger berücksichtigen als die vermeintlich schwierigere Dimension *Durchmesser*. Eine mögliche Erklärung für diese Ergebnisse könnte sein, dass der Glasdurchmesser visuell besser erfasst werden konnte, da dessen Manipulation vielleicht für die Kinder salienter war als die Füllhöhe. Eine weitere Möglichkeit wäre, dass der Durchmesser – im Gegensatz zur Füllhöhe – auch haptisch erfahrbar war.

Im folgenden Experiment wurde mit Kindern von 6 bis 8 Jahren untersucht, ob eine Manipulation der zur Verfügung stehenden haptischen und visuellen Information die Berücksichtigung der Dimensionen *Füllhöhe* und *Durchmesser* beeinflusst. Die Aufgabe bestand darin, ein leeres Wasserglas mit vorgestelltem Wasser darin so weit zu drehen, bis das vorgestellte Wasser genau zum Glasrand kommen würde. Glasdurchmesser und vorzustellende Füllhöhe wurden zweistufig variiert. Visuelle und haptische Information über den Glasdurchmesser wurde experimentell manipuliert, indem ein Vorhang die Sicht versperrte oder nicht; und das Glas direkt gegriffen wurde oder nur an einem Henkel angefasst wurde.

Während mit visueller Kontrolle über die Drehbewegung beide Dimensionen, Füllhöhe und Durchmesser, berücksichtigt wurden, zentrierten Kinder und Erwachsene auf die Füllhöhe, wenn ein Vorhang visuelle Information verhinderte. Für Kinder und Erwachsene hatte die visuelle Information über das zu kippende Glas einen begünstigenden Effekt auf die Berücksichtigung der beiden Dimensionen Durchmesser und Füllhöhe. Für die haptische Information zeigte sich kein generell begünstigender Effekt. Wenn jedoch keine visuelle Information über den Glasdurchmesser zu Verfügung stand, wurde diesbezügliche haptische Information vor allem von den kleinsten Kindern benötigt, um den Durchmesser zu berücksichtigen.

Einleitung

Die Resultate aus Experiment 1 haben gezeigt, dass Kinder bis zu einem Alter von etwa 6 Jahren die *Füllhöhe* des Glases weniger berücksichtigen als die vermeintlich schwierigere Dimension *Durchmesser*. Dieses Ergebnis stimmt überein mit Ergebnissen von Black und Schwartz (1996), wonach ebenfalls die jüngeren Kinder, bis zu einem Alter von etwa 5 Jahren, die *Füllhöhe* kaum berücksichtigten. Eine mögliche Erklärung für diese Ergebnisse könnte sein, dass der Glasdurchmesser visuell besser erfasst werden konnte, da dessen Manipulation vielleicht für die Kinder salienter war als der Wasserstand. Eine weitere Erklärung für die weniger starke Berücksichtigung der *Füllhöhe* könnte darauf zurückzuführen sein, dass beim Kippen des leeren Glases dessen Durchmesser die ganze Zeit im Blickfeld war, und auch haptische Information über den Durchmesser zu Verfügung stand, während die Information über die *Füllhöhe* vollständig in der Vorstellung aufrecht erhalten werden, oder zumindest beim Referenzglas wieder „aufgefrischt“ werden musste.

Im folgenden Experiment wurde untersucht, ob eine Manipulation der zur Verfügung stehenden haptischen und visuellen Information die Berücksichtigung der Faktoren *Füllhöhe* und *Durchmesser* bei Erwachsenen und 7-jährigen Kindern beeinflusst. Diese Altersgruppen wurden gewählt, da aufgrund früherer Ergebnisse (Black & Schwartz, 1996), angenommen werden konnte, dass Kinder in diesem Alter in der Lage sind, beide Dimensionen zu berücksichtigen. Es wurde aber bewusst eine Altersgruppe ausgewählt, die prinzipiell eine Berücksichtigung beider Dimensionen unter optimalen Bedingungen zeigen kann, bei der aber die Manipulationen der haptischen und visuellen Information andere Effekte haben könnten als bei der Gruppe der Erwachsenen.

Die Aufgabe bestand darin, ein leeres Wasserglas so weit zu drehen, bis das darin vorgestellte Wasser genau zum Glasrand kommen würde – dies wieder in den Bedingungen *Neutral*, *mit Schwungrad*, und *Urteil*. Glasdurchmesser und vorzustellende *Füllhöhe* wurden zweistufig variiert. Die visuelle Information über den Glasdurchmesser wurde experimentell manipuliert, indem ein Vorhang die Sicht versperrte oder nicht; und die haptische Information wurde variiert indem das Glas direkt gegriffen oder nur an einem Henkel angefasst wurde.

Experiment 3a (Handlungs-Aufgabe neutral)

Methode

Teilnehmerinnen und Teilnehmer

An Experiment 3 nahmen 48 Kinder (Altersbereich = 6;10 – 8;2, mittleres Alter = 7;4, 26 Mädchen, 22 Jungen) und 48 Erwachsene (Altersbereich = 18;10 – 57;3, mittleres Alter = 25;11, 27 Frauen, 21 Männer) teil. Die Altersgruppen werden im Folgenden als „7-Jährige“ und „Erwachsene“ bezeichnet. Die Kinder wurden in Zürcher Kindergärten und Primarschulen rekrutiert. Die Eltern gaben ihr schriftliches Einverständnis. Die Erwachsenen waren Studierende der Universität Zürich oder stammten aus dem Bekanntenkreis der Versuchsleiter und Versuchsleiterinnen.

Versuchsmaterial

Das Stimulusmaterial in Experiment 3 bestand aus denselben 6 Gläsern wie in Experiment 2. Ein zweites Set von zu kippenden Gläsern wies an der Vorderseite einen senkrechten, flachen Henkel auf (siehe Abbildung 38) an welchem das Glas gedreht werden konnte, ohne die Glasdicke haptisch wahrzunehmen. Der Henkel ragte um 35 mm vom Glas weg, hatte eine Höhe von 66 mm und war genau in der Mitte des 120 mm hohen Glases angebracht. Ein schwarzer Vorhang konnte vor dem Versuchsaufbau montiert werden, so dass die Versuchsausrüstung und das zu drehende Glas verdeckt waren, jedoch das Referenzglas davor gut ersichtlich war (siehe Abbildung 39).



Abbildung 38. Zu kippende Gläser ohne Henkel (links) und mit Henkel (rechts).



Abbildung 39. Versuchsaufbau mit Vorhang.

Versuchsdesign

Es wurde ein vollständiges faktorielles Messwiederholungs-Design angewendet, mit den Innersubjekt-Faktoren *Durchmesser* (2) x *Füllhöhe* (2) x *Messwiederholung* (3). Die Messwiederholungen wurden geblockt dargeboten und die Reihenfolge der Stimuli innerhalb der Blöcke wurde durch ein Randomisierungsprogramm hergestellt. Es wurden 2 Probetrials und 12 Versuchstrials präsentiert. Die Reihenfolge der Probetrials wurde zwischen den Teilnehmerinnen und Teilnehmern zufällig abgewechselt.

Die 7-Jährigen und Erwachsenen wurden einer von vier Bedingungen zugeteilt, die sich aus dem Überkreuzen der Faktoren *Sicht* (2: visuell vs. blind) und *Henkel* (2: mit vs. ohne Henkel) ergaben. Die Bedingung visuell / ohne Henkel wurde hier jedoch nicht neu erhoben, sondern die 7-Jährigen und Erwachsenen aus Experiment 2 zum Vergleich herangezogen. Jeder der übrigen drei Bedingungen wurden 16 7-Jährige und 16 Erwachsene zufällig zugeteilt.

Gemessen wurde der Kippwinkel des Glases in Grad. Verbale Äusserungen wurden ganz am Ende des Experiments 3 stichwortartig notiert.

Versuchsablauf

Das Vorgehen war dasselbe wie in Experiment 2. In den Bedingungen mit Henkel wurde darauf geachtet, dass die Kinder und Erwachsenen das Glas am Henkel hielten und gegebenenfalls ermahnt, das Glas am Henkel zu drehen.

Resultate & Interpretation

Gruppenanalysen

Da dieselben Stimuli verwendet wurden wie in Experiment 2, gilt die gleiche Normgraphik auch hier (siehe Abbildung 40).

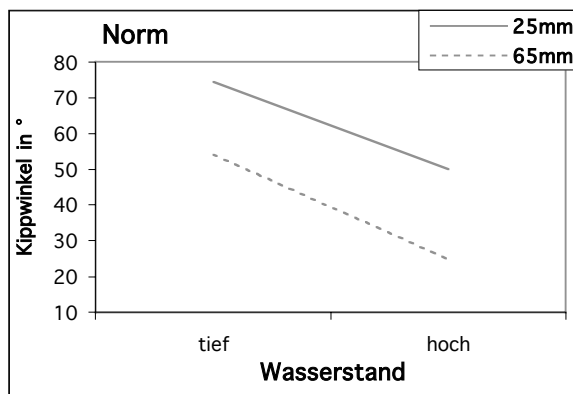


Abbildung 40. Ideales Muster der Kippwinkel in Abhängigkeit von dem Durchmesser und der Füllhöhe des Glases.

Die Abbildungen 41 und 42 zeigen die Muster, die von den 7-Jährigen und Erwachsenen jeweils ohne Sicht und ohne Henkel produziert wurden. In hellgrau ist jeweils zum Vergleich das normative Muster abgebildet. Die beinahe aufeinander liegenden Graphen in den Bedingungen ohne Sicht und die nicht signifikanten Haupteffekte des Faktors Durchmesser in den Varianzanalysen (*Durchmesser* (2) x *Füllhöhe* (2)) zeigen, dass beide Altersgruppen ohne visuelle Kontrolle den Durchmesser des Glases bei ihren Kippbewegungen nicht berücksichtigten. Der Faktor Füllhöhe war jedoch bei beiden Altersgruppen hoch signifikant. (Statistische Kennwerte werden neben den folgenden Gruppengraphiken berichtet.)

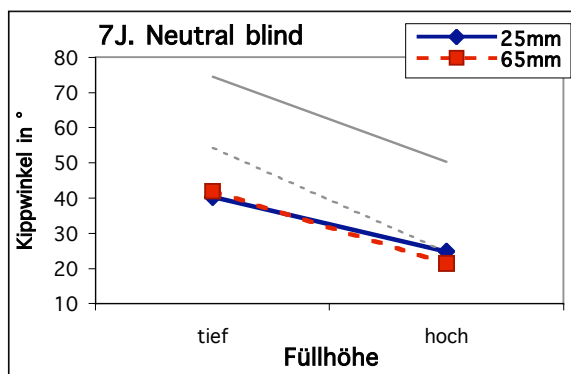


Abbildung 41. Gruppenmittelwerte der Kippwinkel der 7-Jährigen, blind, ohne Henkel.

Durchmesser:

$F < 1$

Füllhöhe:

$F(1, 15) = 179.36, p < .001, \eta^2 = .92$

Durchmesser x Füllhöhe:

$F(1, 15) = 3.51, p = .08, \eta^2 = .19$

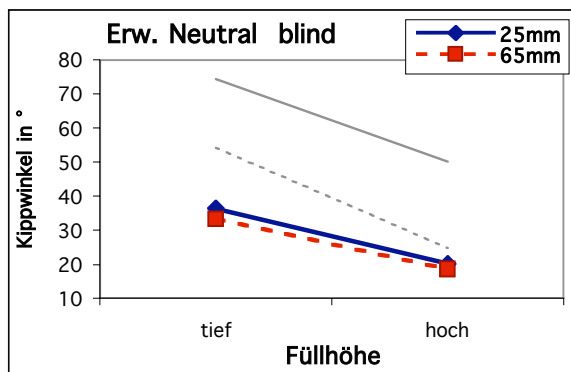


Abbildung 42. Gruppenmittelwerte der Kippwinkel der Erwachsenen, blind, ohne Henkel.

Durchmesser:

$F(1, 15) = 3.17, p = .10, \eta^2 = .17$

Füllhöhe:

$F(1, 15) = 156.01, p < .001, \eta^2 = .91$

Durchmesser x Füllhöhe:

$F < 1$

Die abgestuften und nach rechts hin absinkenden Graphen in den Abbildungen 43 und 44 weisen darauf hin, dass in der visuellen Bedingung mit Henkel von Kinder und Erwachsenen beide Faktoren, Durchmesser und Füllhöhe, differenziert wurden. Die signifikanten Haupteffekte von Durchmesser und Füllhöhe, sowohl für die 7-Jährigen als auch die Erwachsenen untermauern diese Resultate.

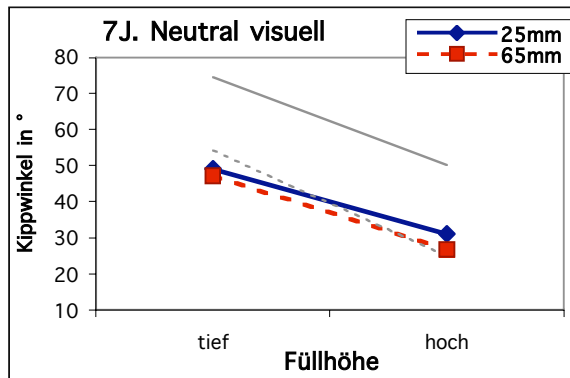


Abbildung 43. Gruppenmittelwerte der Kippwinkel der 7-Jährigen, visuell, mit Henkel.

Durchmesser:

$$F(1, 15) = 6.64, p < .05, \eta^2 = .31$$

Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 77.96, p < .001, \eta^2 = .84$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 1.88, p = .19, \eta^2 = .11$$

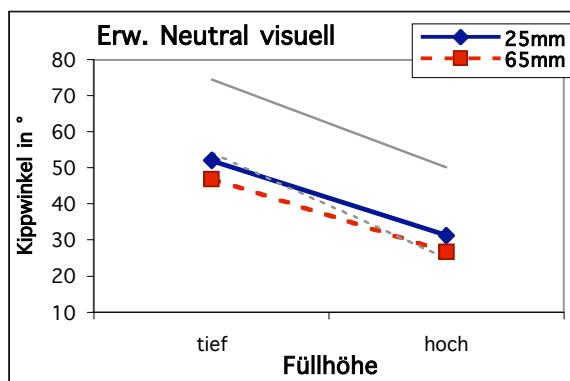


Abbildung 44. Gruppenmittelwerte der Kippwinkel der Erwachsenen, visuell, mit Henkel.

Durchmesser:

$$F(1, 15) = 12.78, p < .01, \eta^2 = .46$$

Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 220.91, p < .001, \eta^2 = .94$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F < 1$$

In der blinden Bedingung mit Henkel (Abbildungen 45 und 46) zeigten sich, wie in den blinden Bedingungen ohne Henkel, ebenfalls ausschliesslich Haupteffekte des Faktors Füllhöhe in beiden Altersgruppen.

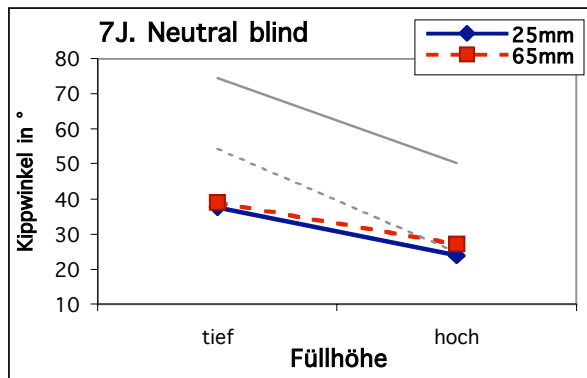


Abbildung 45. Gruppenmittelwerte der Kippwinkel der 7-Jährigen, blind, mit Henkel.

Durchmesser:

$$F(1, 15) = 4.05, p = .06, \eta^2 = .21$$

Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 36.79, p < .001, \eta^2 = .71$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F < 1$$

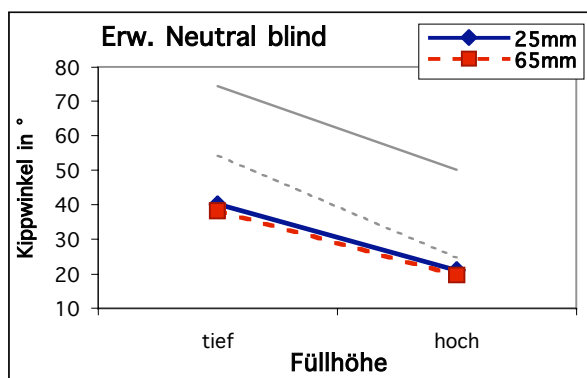


Abbildung 46. Gruppenmittelwerte der Kippwinkel der Erwachsenen, blind, mit Henkel.

Durchmesser:

$$F < 1$$

Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 343.33, p < .001, \eta^2 = .96$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F < 1$$

Eine Gesamt-ANOVA, mit den über die drei Messwiederholungen gemittelten Kippwinkeln, den Innersubjekt-Faktoren *Durchmesser* (2) und *Füllhöhe* (2) und den Zwischensubjekt-Faktoren *Altersgruppe* (2) und *Geschlecht* (2), ergab keinen Haupteffekt von *Geschlecht*, $F < 1$, und weder eine Interaktion von *Geschlecht* und *Durchmesser*, $F < 1$, noch von *Geschlecht* und *Füllhöhe*, $F(1, 124) = 1.47, p = .29, \eta^2 = .01$. Daher wurde in den Folgenden Analysen auf einen Miteinbezug des Faktors *Geschlecht* verzichtet.

Die über die drei Messwiederholungen gemittelten Kippwinkeln wurden einer Gesamt-ANOVA unterzogen, mit den Innersubjekt-Faktoren *Durchmesser* (2) und *Füllhöhe* (2) und den Zwischensubjekt-Faktoren *Henkel* (2), *Sicht* (2) und *Altersgruppe* (2). Hierbei interessierten insbesondere die Interaktionen der Zwischensubjekt-Faktoren mit den Innersubjekt-Faktoren *Durchmesser* und *Füllhöhe*, da untersucht werden sollte, ob diese Faktoren einen statistisch

signifikanten Einfluss auf die Berücksichtigung des Durchmessers und/oder der Füllhöhe des zu kippenden Glases haben.

Die Analyse ergab signifikante Haupteffekte der Faktoren *Füllhöhe*, $F(1, 120) = 1001.12$, $p < .001$, $\eta^2 = .89$, und *Durchmesser*, $F(1, 120) = 23.99$, $p < .001$, $\eta^2 = .17$. Blind wurden im Mittel kleinere Kippwinkel produziert als mit Sicht $F(1, 120) = 29.26$, $p < .001$, $\eta^2 = .20$. Mit *Sicht* wurde die *Füllhöhen* besser differenziert als blind, $F(1, 120) = 19.93$, $p < .001$, $\eta^2 = .14$, und auch der *Durchmesser* stärker berücksichtigt, $F(1, 120) = 12.32$, $p < .01$, $\eta^2 = .09$. Der *Henkel* übte weder einen Haupteffekt auf die Kippwinkel aus, $F < 1$, noch hatte er einen Einfluss auf die Berücksichtigung des *Durchmessers*, $F(1, 120) = 1.31$, $p = .25$, $\eta^2 = .01$, oder der *Füllhöhe*, $F(1, 120) = 2.88$, $p = .09$, $\eta^2 = .02$.

Die 7-Jährigen drehten die Gläser im Mittel eher weiter als die Erwachsenen, $F(1, 120) = 4.05$, $p < .05$, $\eta^2 = .03$. Sie berücksichtigten die *Füllhöhe* signifikant weniger, $F(1, 120) = 4.08$, $p < .05$, $\eta^2 = .03$, den *Durchmesser* nur tendenziell weniger als die Erwachsenen, $F(1, 120) = 3.32$, $p = .07$, $\eta^2 = .03$. Es zeigte sich eine signifikante 4-fach Interaktion zwischen *Altersgruppe*, *Füllhöhe*, *Sicht*, und *Henkel*, $F(1, 120) = 6.83$, $p < .05$, $\eta^2 = .05$, und eine 5-fach-Interaktion zwischen *Altersgruppe*, *Durchmesser*, *Füllhöhe*, *Sicht*, und *Henkel*, $F(1, 120) = 6.24$, $p < .05$, $\eta^2 = .05$. Diese ist wohl vor allem darauf zurückzuführen, dass einzig die Kinder in der Bedingung ohne Sicht und ohne Henkel eine Interaktion zwischen *Durchmesser* und *Füllhöhe* zeigten (siehe die leichte Überkreuzung der Geraden in Abbildung 41). Alle diese Alterseffekte erwiesen sich jedoch als wenig effektstark.

Alle übrigen Haupteffekte und Interaktionen erwiesen sich als statistisch nicht signifikant, alle $p > .09$, alle $\eta^2 < .03$.

Konsistenzen

Als Indikator für die Konsistenz der Daten wurde für jede Person die Pearson Korrelation zwischen jeweils zwei Messwiederholungen berechnet. Da das Design drei Messwiederholungen umfasste ergaben sich drei Korrelationskoeffizienten, welche die Übereinstimmung von Block eins mit Block zwei, Block zwei mit Block drei, und Block eins mit Block drei beschreiben. Um einen einzelnen Kennwert zu erhalten, wurden die Korrelationskoeffizienten Fisher-transformiert und gemittelt.

Tabelle 7 zeigt die mittleren Konsistenzen für die 7-Jährigen und Erwachsenen in den Bedingungen mit und ohne Henkel und mit und ohne Sicht. Die niedrigsten Konsistenzen zeigten die 7-Jährigen in der blinden Bedingung mit Henkel. In der visuellen Bedingung jedoch lagen die Konsistenzen mit Henkel bei den Kindern sogar über denjenigen ohne Henkel.

Tabelle 7

Mittlere Konsistenzen (*Pearsons r* und *Fishers Z*), und Standardabweichung von *Fishers Z* für *Alter*, *Henkel* und *Sicht*.

NEUTRAL	ohne Henkel					
	visuell			blind		
	<i>r</i>	<i>Z</i>	<i>SD</i>	<i>r</i>	<i>Z</i>	<i>SD</i>
7-Jährige	.87	1.32	.67	.84	1.22	.62
Erwachsene	.96	1.91	.59	.94	1.78	.84
	mit Henkel					
	visuell			blind		
	<i>r</i>	<i>Z</i>	<i>SD</i>	<i>r</i>	<i>Z</i>	<i>SD</i>
7-Jährige	.93	1.64	.83	.65	.77	.78
Erwachsene	.94	1.70	.77	.91	1.52	.57

Einzelanalysen

Für jede Person wurde eine ANOVA gerechnet mit den unabhängigen Variablen *Durchmesser* und *Füllhöhe* als zweistufige Innersubjekt-Faktoren und den über die Messwiederholungen gemittelten Kippwinkeln als abhängige Variable. Die Kinder und Erwachsenen wurden klassifiziert nach den Faktoren, die jeweils in der Einzel-ANOVA auf 10%-Niveau statistisch signifikant waren. Abbildung 47 zeigt die Ergebnisse dieser Einzelanalysen für die 7-Jährigen und die vier Bedingungen, Abbildung 48 entsprechend für die Erwachsenen.

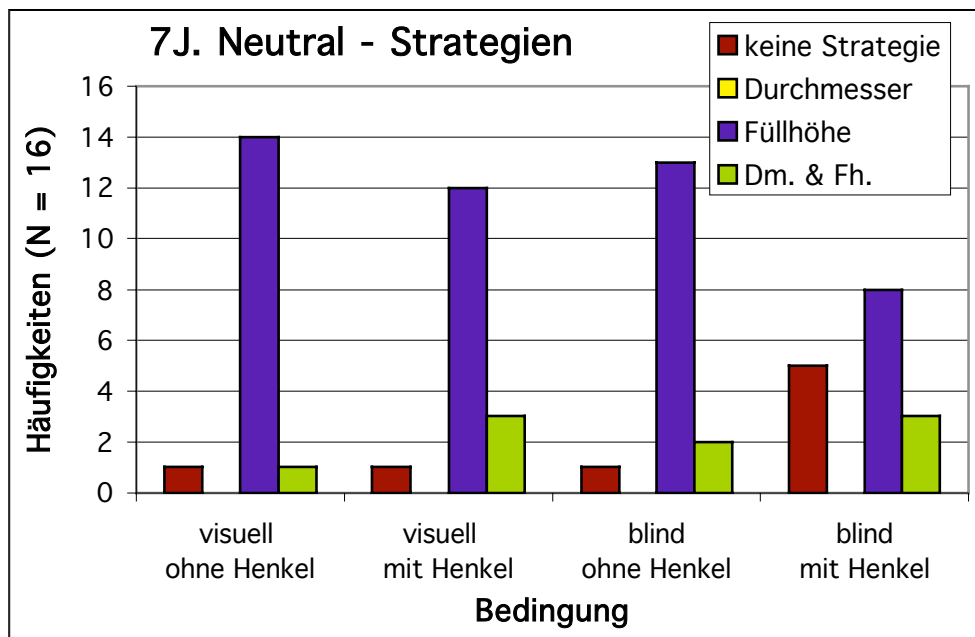


Abbildung 47. Strategien, klassifiziert aufgrund von Einzel-ANOVAs (signifikante Effekte bei $p < .10$) für 7-Jährige in den verschiedenen Bedingungen.

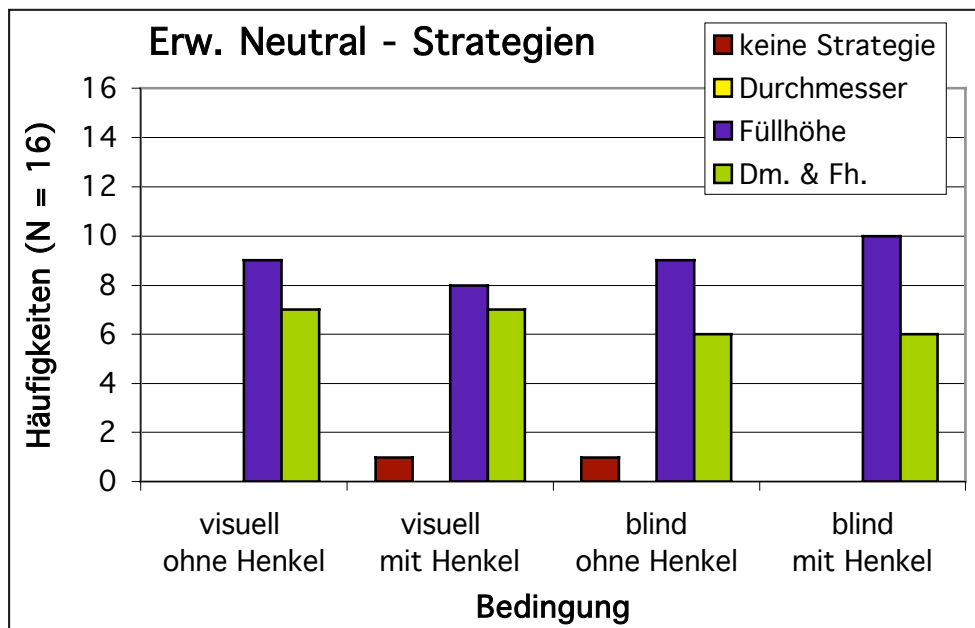


Abbildung 48. Strategien, klassifiziert aufgrund von Einzel-ANOVAs (signifikante Effekte bei $p < .10$) für Erwachsene in den verschiedenen Bedingungen.

Auf Einzelniveau ergaben sich in beiden Altersgruppen keine grossen Unterschiede zwischen den Bedingungen. In keiner Bedingung wurde ausschliesslich auf den Durchmesser geachtet. Das Beachten der Füllhöhe war die dominante Strategie. Bei den Erwachsenen zeigten sich in allen Bedingungen vergleichbar viele Integrationsstrategien. Bei den 7-Jährigen bestand der auffälligste Unterschied darin, dass sich in der blinden Bedingung mit Henkel am meisten unklassifizierbare Strategien zeigten.

Eine genauere Analyse davon, in welche Richtung die signifikanten Effekte des Faktors Durchmesser gingen (siehe Experiment 2a), ergab die in Tabelle 8 dargestellten Häufigkeiten und Prozentwerte. Während die Effekte des Faktors Durchmesser in den visuellen Bedingungen und in der blinden Bedingung ohne Henkel zu einem vergleichbaren Prozentsatz in die richtige Richtung gingen, zeigten sich in der Bedingung blind / mit Henkel weniger konsistent richtige Effekte. Etwa jede zweite Person drehte hier konsistent die breiten Gläser fälschlicherweise weiter als die dünnen.

Tabelle 8

Richtung der signifikanten Effekte des Faktors Durchmesser (Häufigkeiten und Prozentwerte), für die 4 Bedingungen.

NEUTRAL	richtig		falsch		inkonsistent	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
visuell ohne Henkel	10	83.3	1	8.3	1	8.3
visuell mit Henkel	8	80	1	10	1	10
blind ohne Henkel	7	87.5	1	12.5	-	-
blind mit Henkel	4	44.4	5	55.6	-	-

Diskussion

Aus den Gruppenanalysen geht hervor, dass beide Altersgruppen ohne visuelle Kontrolle den Durchmesser des Glases bei ihren Kippbewegungen nicht berücksichtigten. Blind wurden im Mittel nur die verschiedenen Füllhöhen differenziert. Mit visueller Information hingegen wurden beide Faktoren berücksichtigt. Dabei zeigten sich keine gravierenden Altersunterschiede. Die Kinder berücksichtigten beide Faktoren signifikant, differenzierten diese lediglich etwas weniger deutlich als die Erwachsenen. Ob das zu kippende Glas einen Henkel aufwies oder nicht, übte weder einen Haupteffekt auf die Kippwinkel aus, noch hatte dies einen Einfluss auf die Berücksichtigung der beiden Dimensionen Durchmesser und Füllhöhe. Zusammenfassend kann also gesagt werden, dass für Kinder und Erwachsene nicht die haptische Information, wohl aber die visuelle Information über das zu kippende Glas einen begünstigenden Effekt auf die Berücksichtigung der beiden Dimensionen Durchmesser und Füllhöhe hatte.

In den Einzelanalysen zeigte sich vor allem bei Kindern ein Effekt der haptischen Information wenn die visuelle Information nicht zur Verfügung stand. Die 7-Jährigen zeigten in der blinden Bedingung mit Henkel am meisten unklassifizierbare Strategien. In dieser Bedingung gingen auch die wenigsten der signifikanten Effekte des Faktors Durchmesser in die richtige Richtung. Die niedrigsten Konsistenzen ergaben sich ebenfalls in der Bedingung blind / mit Henkel. Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass bei fehlender visueller Information über den Glasdurchmesser diesbezügliche haptische Information vor allem von Kindern benötigt wurde, um den Durchmesser konsistent und in richtiger Richtung zu berücksichtigen. Abgesehen davon waren die Konsistenzen jedoch generell sehr hoch. In der visuellen Bedingung lagen die Konsistenzen mit Henkel bei den Kindern sogar über denjenigen ohne Henkel. Möglicherweise gab der Henkel einen zusätzlichen und markanten visuellen Anhaltspunkt über die Richtung des Glases, sodass er in der visuellen Bedingung eher ein präzises Einstellen der Kippwinkel begünstigte.

In den blinden Bedingungen wurden im Mittel etwas kleinere Kippwinkel produziert als mit Sicht, und damit die objektiv richtigen Winkel stärker unterschätzt. In den visuellen Bedingungen lagen wie in Experiment 2a und 2b die Kippwinkel näher bei den normativen Werten für das dicke Glas. Auch fand sich wieder ein Altersunterschied: die 7-Jährigen drehten die Gläser im Mittel eher weiter als die Erwachsenen, und kamen damit den normativen Werten näher.

Experiment 3b (Handlungs-Aufgabe mit Schwungrad)

Method

Teilnehmerinnen und Teilnehmer

Es nahmen dieselben Kinder und Erwachsenen teil wie in Experiment 3a.

Versuchsmaterial

Es wurde derselbe Versuchsaufbau benutzt wie in Experiment 2b und dieselben Gläser wie in Experiment 3a.

Versuchsdesign

Das Versuchsdesign war identisch mit Experiment 3a. Teilnehmer und Teilnehmerinnen, die in Experiment 3a Henkel an den Bechern hatten, hatten auch hier Henkel, und Teilnehmerinnen und Teilnehmer, die Experiment 3a mit Sicht lösten, lösten auch diese Aufgabe mit Sicht.

Gemessen wurde der Kippwinkel des Glases in Grad. Verbale Äusserungen wurden am Ende von Experiment 3 stichwortartig notiert.

Versuchsablauf

Der Versuchsablauf war identisch mit Experiment 2b.

Resultate & Interpretation

Die Abbildungen 49 bis 50 zeigen die Muster, die von den zwei Altersgruppen blind und ohne Henkel produziert wurden. Varianzanalysen (*Durchmesser* (2) x *Füllhöhe* (2)) für die Altersgruppen getrennt, ergaben signifikante Haupteffekte der Faktoren *Durchmesser* und *Füllhöhe* aber keine Interaktion dieser beiden Faktoren. Diese Resultate weisen darauf hin, dass Kinder und Erwachsene in den blinden Bedingungen ohne Henkel beide variierten Dimensionen berücksichtigt haben. Die parallel abgestuften und nach rechts hin abfallenden Graphen unterstützen diese Interpretation.

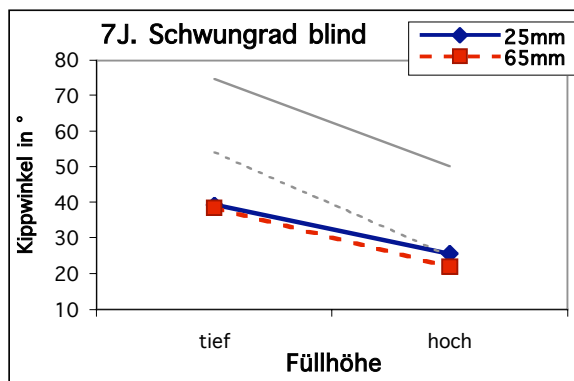


Abbildung 49. Gruppenmittelwerte der Kippwinkel der 7-Jährigen, blind, ohne Henkel.

Durchmesser:

$$F(1, 15) = 5.30, p < .05, \eta^2 = .26$$

Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 150.95, p < .001, \eta^2 = .91$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 2.40, p = .14, \eta^2 = .14$$

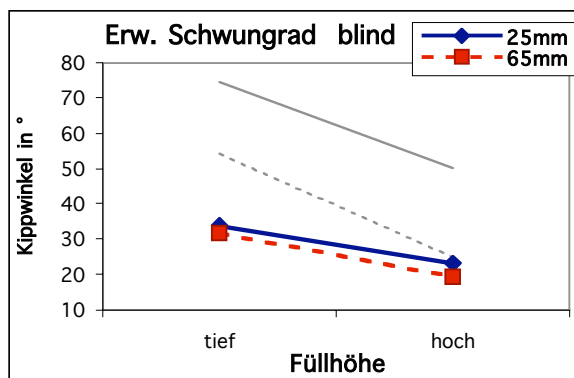


Abbildung 50. Gruppenmittelwerte der Kippwinkel der Erwachsenen, blind, ohne Henkel.

Durchmesser:

$$F(1, 15) = 6.78, p < .05, \eta^2 = .31$$

Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 67.56, p < .001, \eta^2 = .82$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F < 1$$

Wie in den Abbildungen 51 und 52 zu sehen ist, lagen in der visuellen Bedingung mit Schwungrad die Mittelwerte der beiden Durchmesser vor allem bei tiefer Füllhöhe nicht sehr deutlich auseinander. Trotzdem erwies sich der Faktor Durchmesser aber als signifikant, und die Interaktion von Füllhöhe und Durchmesser als nicht signifikant.

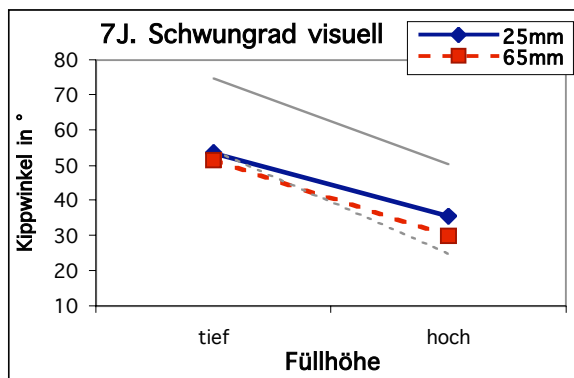


Abbildung 51. Gruppenmittelwerte der Kippwinkel der 7-Jährigen, visuell, mit Henkel.

Durchmesser:

$$F(1, 15) = 8.61, p < .05, \eta^2 = .37$$

Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 66.81, p < .001, \eta^2 = .82$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 2.02, p = .18, \eta^2 = .12$$

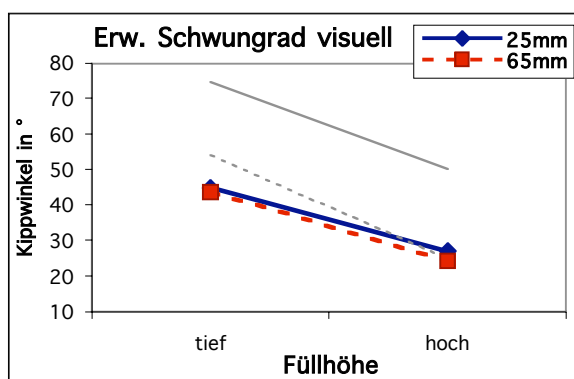


Abbildung 52. Gruppenmittelwerte der Kippwinkel der Erwachsenen, visuell, mit Henkel.

Durchmesser:

$$F(1, 15) = 5.21, p < .05, \eta^2 = .26$$

Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 170.30, p < .001, \eta^2 = .92$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 1.57, p = .23, \eta^2 = .10$$

In der blinden Bedingung mit Henkel (Abbildungen 53 und 54) ergaben sich ähnliche Resultate wie ohne Schwungrad. Die Gruppengraphiken und Varianzanalysen weisen darauf hin, dass ausschliesslich der Faktor Füllhöhe Beachtung fand.

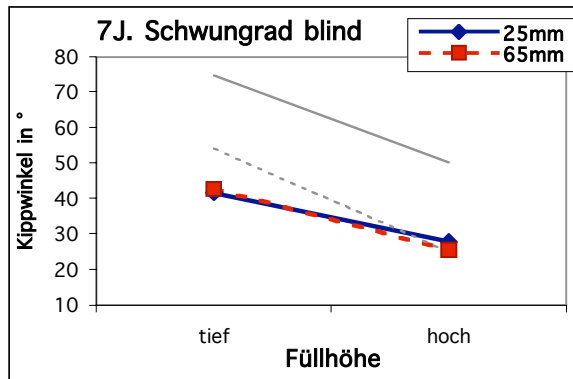


Abbildung 53. Gruppenmittelwerte der Kippwinkel der 7-Jährigen, blind, mit Henkel.

Durchmesser:

$$F < 1$$

Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 54.24, p < .001, \eta^2 = .78$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 3.53, p = .08, \eta^2 = .19$$

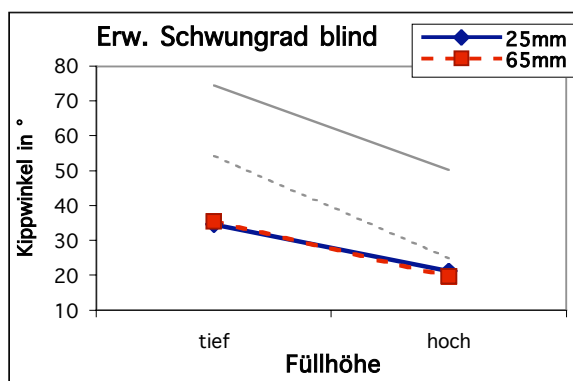


Abbildung 54. Gruppenmittelwerte der Kippwinkel der Erwachsenen, blind, mit Henkel.

Durchmesser:

$$F < 1$$

Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 163.06, p < .001, \eta^2 = .92$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 1.83, p = .20, \eta^2 = .11$$

Die Daten wurden wie in Experiment 3a über die Messwiederholungen gemittelt und einer Gesamt-ANOVA unterzogen, mit den Innersubjekt-Faktoren *Durchmesser* (2) und *Füllhöhe* (2) und den Zwischensubjekt-Faktoren *Altersgruppe* (2) und *Geschlecht* (2). Die Analyse ergab keinen Haupteffekt von *Geschlecht*, $F < 1$, und keine Interaktion von *Geschlecht* und *Durchmesser*, $F < 1$, aber die Frauen und Mädchen differenzierten die verschiedene Füllhöhen etwas stärker als die Männer und Jungen, $F(1, 124) = 4.59$, $p < .05$, $\eta^2 = .04$. Da aber auch bei letzteren ein starker Effekt von Füllhöhe auftrat und zu Gunsten der Interpretierbarkeit aller übrigen Effekte, wurde in den folgenden Analysen auf einen Miteinbezug des Faktors Geschlecht verzichtet.

Eine Gesamt-ANOVA mit den Faktoren *Durchmesser* (2), *Füllhöhe* (2), *Henkel* (2), *Sicht* (2) und *Altersgruppe* (2) zeigte Haupteffekte der Faktoren *Füllhöhe*, $F(1, 120) = 686.04$, $p < .001$, $\eta^2 = .85$, und *Durchmesser*, $F(1, 120) = 38.29$, $p < .001$, $\eta^2 = .24$. Eine signifikante Interaktion zwischen *Durchmesser* und *Füllhöhe*, $F(1, 120) = 6.21$, $p < .05$, $\eta^2 = .05$, ist darauf zurückzuführen, dass bei niedriger Füllhöhe die verschiedenen Durchmesser im Mittel weniger differenziert wurden als bei hoher Füllhöhe.

Ohne *Sicht* wurden im Mittel weniger grosse Kippwinkel produziert als mit *Sicht*, $F(1, 120) = 24.32$, $p < .001$, $\eta^2 = .17$. Wie schon in Experiment 3a wurden die *Füllhöhen* mit *Sicht* besser differenziert als ohne *Sicht*, $F(1, 120) = 26.96$, $p < .001$, $\eta^2 = .18$. Der *Durchmesser* wurde ebenfalls stärker berücksichtigt mit *Sicht* auf das zu kippende Glas, $F(1, 120) = 7.14$, $p < .01$, $\eta^2 = .06$.

Ohne *Henkel* wurden die verschiedenen *Durchmesser* etwas stärker differenziert, $F(1, 120) = 5.13$, $p < .05$, $\eta^2 = .04$. Die *Füllhöhen* jedoch wurden mit *Sicht* besser differenziert, wenn das Glas keinen *Henkel* hatte, während ohne *Sicht* ein *Henkel* eher von Vorteil war, $F(1, 120) = 4.49$, $p < .05$, $\eta^2 = .04$.

Wie in Experiment 3a ergab sich ein Haupteffekte von *Alter*, $F(1, 120) = 9.21$, $p < .01$, $\eta^2 = .07$. Kinder drehten die Gläser im Mittel weiter als Erwachsene. Es fanden sich keine signifikanten *Alterseffekte* bezüglich der Berücksichtigung des Faktors *Durchmesser*, $F < 1$, oder des Faktors *Füllhöhe*, $F < 1$.

Alle übrigen Haupteffekte und Interaktionen erwiesen sich als statistisch nicht signifikant, alle $p > .11$, alle $\eta^2 < .03$.

Konsistenzen

Die Korrelationskoeffizienten wurden Fisher-transformiert und gemittelt. Tabelle 9 zeigt die mittleren Konsistenzen für die Kinder und Erwachsenen in den Bedingungen mit und ohne Henkel sowie mit und ohne Sicht. Die Konsistenzen waren vergleichbar mit denen aus Experiment 3a.

Tabelle 9

Mittlere Konsistenzen (*Pearsons r* und *Fishers Z*), und Standardabweichung von *Fishers Z* für *Alter*, *Henkel* und *Sicht*.

	mit SCHWUNGRAD			ohne Henkel		
	visuell			blind		
	<i>r</i>	<i>Z</i>	<i>SD</i>	<i>r</i>	<i>Z</i>	<i>SD</i>
7-Jährige	.87	1.34	.71	.86	1.28	.67
Erwachsene	.97	2.10	.54	.88	1.38	.89
	mit Henkel					
	visuell			blind		
	<i>r</i>	<i>Z</i>	<i>SD</i>	<i>r</i>	<i>Z</i>	<i>SD</i>
7-Jährige	.87	1.32	.91	.71	.89	.49
Erwachsene	.95	1.85	.71	.91	1.55	.63

Einzelanalysen

Für jede Person wurde eine ANOVA gerechnet, mit den unabhängigen Variablen *Durchmesser* und *Füllhöhe* als zweistufige Innersubjekt-Faktoren und den Kippwinkeln als abhängige Variable. Die Kinder und Erwachsenen wurden klassifiziert nach den Faktoren, die jeweils in der Einzel-ANOVA auf 10%-Niveau statistisch signifikant waren. Abbildung 55 zeigt die Ergebnisse dieser Einzel-ANOVAs für die 7-Jährigen in den vier Bedingungen, Abbildung 56 zeigt dasselbe für die Erwachsenen.

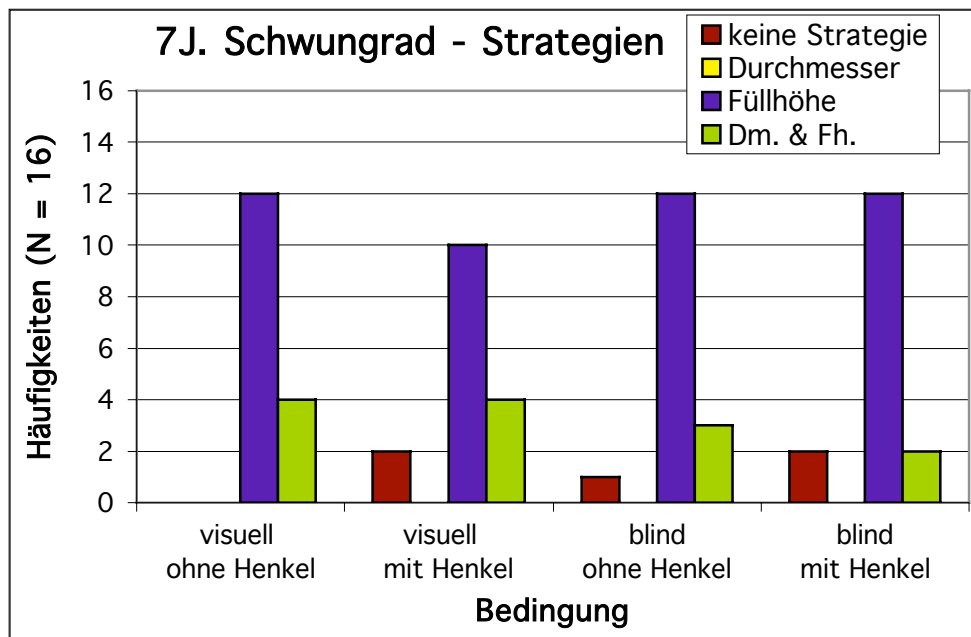


Abbildung 55. Strategien, klassifiziert aufgrund von Einzel-ANOVAs (signifikante Effekte bei $p < .10$) für 7-Jährige in den verschiedenen Bedingungen.

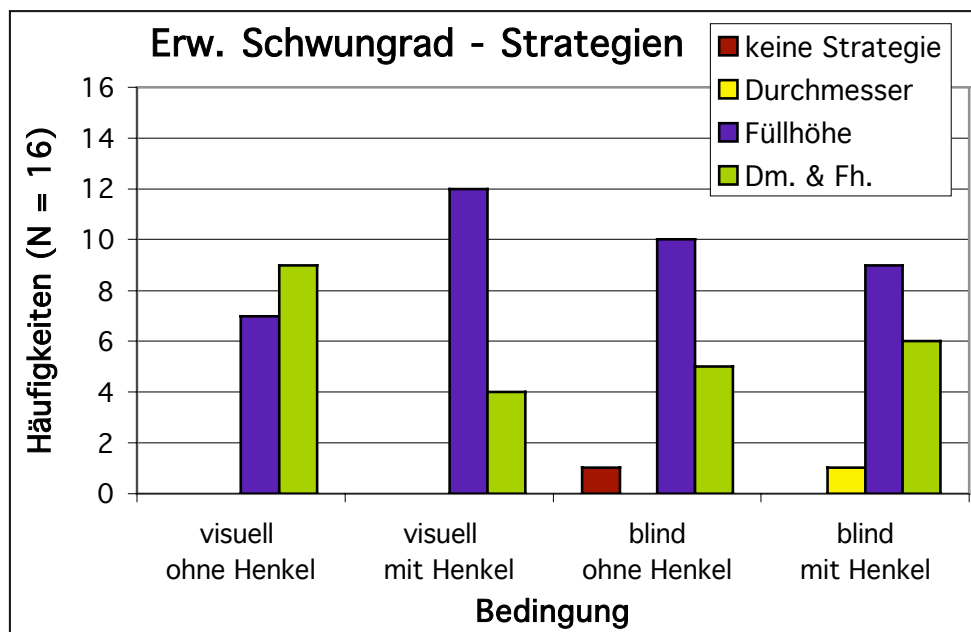


Abbildung 56. Strategien, klassifiziert aufgrund von Einzel-ANOVAs (signifikante Effekte bei $p < .10$) für Erwachsene in den verschiedenen Bedingungen.

Bei Kindern war kein grosser Unterschied zwischen den Strategien in den verschiedenen Bedingungen auszumachen. Bei den Erwachsenen zeigten sich in den blinden Bedingungen und in der visuellen Bedingung mit Henkel weniger signifikante Integrationsstrategien als in der Bedingung visuell / ohne Henkel. Vor allem die Kinder zeigten leicht mehr signifikante Integrationsstrategien und weniger nicht klassifizierbare Strategien als ohne Schwungrad (Experiment 3a).

Eine genauere Analyse davon, in welche Richtung die signifikanten Effekte des Faktors Durchmesser gingen (siehe Experiment 2a), ergab die in Tabelle 10 dargestellten Häufigkeiten und Prozentwerte. Die Effekte des Faktors Durchmesser gingen vergleichbar oft in die richtige Richtung wie ohne das zusätzliche Schwungrad in Experiment 3a. Wieder zeigten sich in der blinden Bedingung mit Henkel etwa zur Hälfte Effekte in die falsche Richtung, während bei allen anderen Bedingungen der Prozentsatz richtiger Berücksichtigungen sehr viel höher lag.

Tabelle 10

Richtung der signifikanten Effekte des Faktors Durchmesser (Häufigkeiten und Prozentwerte), für die 4 Bedingungen.

mit SCHWUNGRAD	richtig		falsch		inkonsistent	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
visuell ohne Henkel	14	82.4	2	11.8	1	5.9
visuell mit Henkel	6	75	1	12.5	1	12.5
blind ohne Henkel	7	87.5	1	12.5	-	-
blind mit Henkel	4	44.4	5	55.6	-	-

Diskussion

Wie in Experiment 3a drehten die 7-Jährigen die Gläser im Mittel weiter als Erwachsene. Es fanden sich ebenfalls auf Gruppenebene keine signifikanten Alterseffekte bezüglich der Berücksichtigung der Faktoren Durchmesser oder Füllhöhe. Auch die Konsistenzen waren vergleichbar mit denen aus Experiment 3a. Das Schwungrad hatte also keinen generell störenden Einfluss darauf, wie exakt die 7-Jährigen und Erwachsenen bei gleichen Trials denselben Kippwinkel reproduzieren konnten. Die 7-Jährigen zeigten auf Einzelniveau sogar leicht mehr signifikante Integrationsstrategien und weniger nicht klassifizierbare Strategien als ohne Schwungrad. Dabei gingen die Effekte des Faktors Durchmesser vergleichbar oft in die richtige Richtung wie ohne das zusätzliche Schwungrad.

Diese Resultate der Gruppenanalysen weisen darauf hin, dass Kinder und Erwachsene in den Bedingungen ohne Sicht und ohne Henkel beide variierten Dimensionen berücksichtigt haben. Im Unterschied zu Experiment 3a achteten in dieser Aufgabe mit Schwungrad die Kinder und Erwachsenen also auch blind auf den Faktor Durchmesser, die verschiedenen Füllhöhen und Durchmesser wurden jedoch mit Sicht stärker differenziert als ohne Sicht auf das Glas. Ähnlich wie ohne Schwungrad wurden blind generell kleinere Kippwinkel produziert.

In der blinden Bedingung mit Henkel wurde wiederum nur auf die Füllhöhe geachtet. Wieder zeigten sich in dieser Bedingung etwa zur Hälfte Effekte in die falsche Richtung, während bei allen anderen Bedingungen der Prozentsatz richtiger Berücksichtigungen sehr viel höher lag. Auch waren die Konsistenzen der 7-Jährigen in dieser Bedingung am niedrigsten. Die Eliminierung der haptischen Information über den Glasdurchmesser hatte also vor allem ohne visuelle Information einen negativen Effekt auf die korrekte und konsistente Berücksichtigung des Durchmessers. Dahingegen schien für die Berücksichtigung der Füllhöhe der Effekt des Henkels gerade umgekehrt zu sein, denn die Füllhöhen wurden blind stärker differenziert, wenn das Glas einen Henkel hatte. Mit Sicht hingegen wurden die Füllhöhen ohne Henkel stärker differenziert. Möglicherweise störte der auf der Vorderseite des Glases senkrecht sichtbare Henkel hier die visuelle Vorstellung der horizontalen Wasseroberfläche. Entgegen ursprünglicher Befürchtungen, dass der Henkel in der visuellen Bedingung als zusätzlichen Anhaltspunkt für die Vorstellung der Horizontalen genutzt werden könnte, war der Effekt des Henkels also in der visuellen Bedingung eher nachteilig.

Experiment 3c (Urteils-Aufgabe)

Methode

Teilnehmerinnen und Teilnehmer

Es nahmen dieselben Kinder und Erwachsenen teil wie in Experiment 3a.

Versuchsmaterial

Es wurden dieselben Gläser benutzt wie in Experiment 3a und 3b. Die Gläser waren ebenfalls an der Drehachse befestigt. Der Kippwinkel wurde mittels einer Wäscheklammer angezeigt, die an die schwarze Scheibe geklemmt werden konnte, wie in der Urteilsbedingung des Experiments 2.

Versuchsdesign

Das Versuchsdesign war identisch mit Experiment 3a. Jedoch lösten alle Kinder und Erwachsenen diese Aufgabe mit Sicht (ohne den Faktor *Sicht*). Teilnehmer und Teilnehmerinnen, die in Experiment 3a und 3b Henkel an den Bechern hatte, hatten auch hier Henkel.

Gemessen wurde der Winkel in Grad, in welchem die Klammer positioniert wurde.

Versuchsablauf

Das Vorgehen war identisch mit Experiment 2c.

Am Ende des Experiments wurden die Kinder und Erwachsenen gefragt, ob sie – bezogen auf das ganze Experiment 3 – irgend eine Strategie, bzw. einen Trick angewendet, oder etwas spezielles beachtet oder überlegt hätten.

Resultate & Interpretation

Die Abbildungen 57 und 58 zeigen die Muster, die von den zwei Altersgruppen jeweils in der Urteils-Aufgabe produziert wurden, nachdem sie die Gläser zuvor ohne Sicht und ohne Henkel gekippt hatten. Die Gruppengraphiken und Varianzanalysen weisen darauf hin, dass Kinder und Erwachsene ausschliesslich den Faktor Füllhöhe beachtet haben.

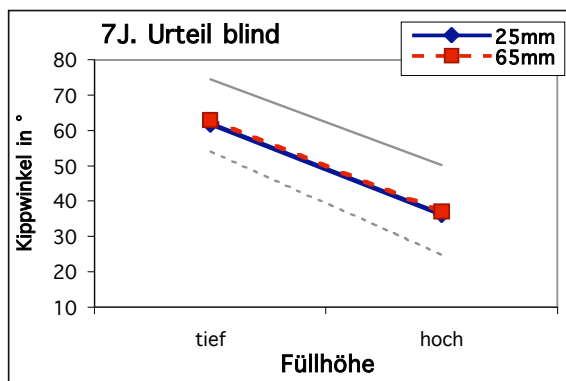


Abbildung 57. Gruppenmittelwerte der Kippwinkel der 7-Jährigen, blind, ohne Henkel.

Durchmesser:

$F < 1$

Füllhöhe:

$F(1, 15) = 60.16, p < .001, \eta^2 = .80$

Durchmesser x Füllhöhe:

$F < 1$

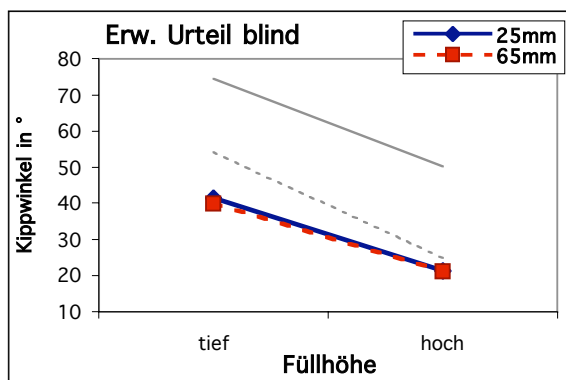


Abbildung 58. Gruppenmittelwerte der Kippwinkel der Erwachsenen, blind, ohne Henkel.

Durchmesser:

$F < 1$

Füllhöhe:

$F(1, 15) = 72.41, p < .001, \eta^2 = .83$

Durchmesser x Füllhöhe:

$F < 1$

In der Bedingung, in der zuvor die Gläser mit Sicht und mit Henkel gedreht wurden, ergaben sich bei Erwachsenen und tendenziell auch bei Kindern Haupteffekte des Faktors *Durchmesser*, jedoch wurden hier im Mittel fälschlicherweise breite Gläser weiter gekippt als dünne Gläser. In den Abbildungen 59 und 60 liegen dementsprechend die durchgezogenen Linien unterhalb der gestrichelten Linien.

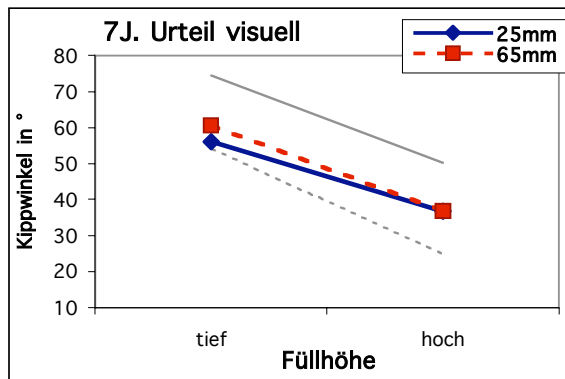


Abbildung 59. Gruppenmittelwerte der Kippwinkel der 7-Jährigen, visuell, mit Henkel.

Durchmesser:

$$F(1, 15) = 4.25, p = .06, \eta^2 = .22$$

Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 76.77, p < .001, \eta^2 = .84$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 3.15, p = .10, \eta^2 = .17$$

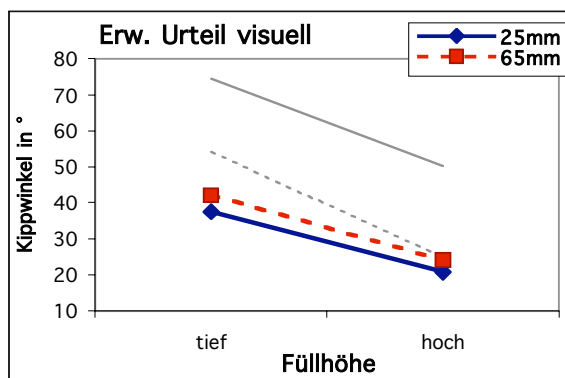


Abbildung 60. Gruppenmittelwerte der Kippwinkel der Erwachsenen, visuell, mit Henkel.

Durchmesser:

$$F(1, 15) = 29.26, p < .001, \eta^2 = .66$$

Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 142.61, p < .001, \eta^2 = .01$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 1.03, p = .33, \eta^2 = .06$$

Wenn zuvor die Gläser blind gedreht wurden und mit Henkel versehen waren, achteten sowohl die 7-Jährigen als auch die Erwachsenen wiederum ausschliesslich auf den Faktor Füllhöhe (siehe Abbildungen 61 und 62).

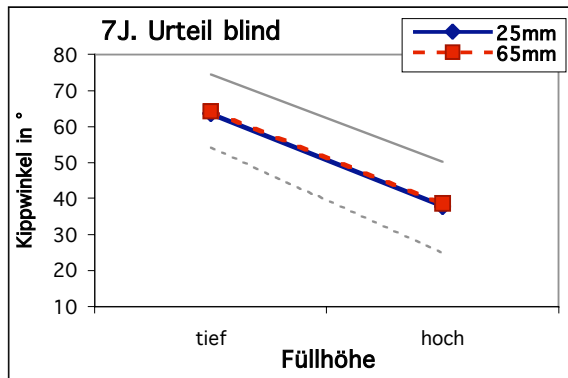


Abbildung 61. Gruppenmittelwerte der Kippwinkel der 7-Jährigen, blind, mit Henkel.

Durchmesser:

$$F(1, 15) = 1.03, p = .33, \eta^2 = .06$$

Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 83.23, p < .001, \eta^2 = .85$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F < 1$$

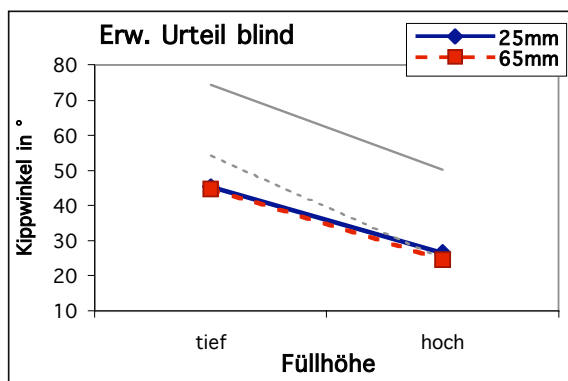


Abbildung 62. Gruppenmittelwerte der Kippwinkel der Erwachsenen, blind, mit Henkel.

Durchmesser:

$$F < 1$$

Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 231.62, p < .001, \eta^2 = .94$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 1.51, p = .24, \eta^2 = .09$$

Eine Gesamt-ANOVA, mit den über die drei Messwiederholungen gemittelten Kippwinkeln, den Innersubjekt-Faktoren *Durchmesser* (2) und *Füllhöhe* (2) und den Zwischensubjekt-Faktoren *Altersgruppe* (2) und *Geschlecht* (2), ergab weder einen Haupteffekt von *Geschlecht*, $F(1, 124) = 2.12$, $p = .14$, $\eta^2 = .02$, noch eine Interaktion von *Geschlecht* und *Durchmesser*, $F < 1$, oder von *Geschlecht* und *Füllhöhe*, $F(1, 124) = 3.10$, $p = .08$, $\eta^2 = .02$. Daher wurde in den folgenden Analysen auf einen Miteinbezug des Faktors *Geschlecht* verzichtet.

Die Daten wurden über die Messwiederholungen gemittelt und einer Varianzanalyse mit den Faktoren *Durchmesser* (2), *Füllhöhe* (2), *Henkel* (2), *Sicht* (2) und *Altersgruppe* (2) unterzogen. Die ANOVA zeigt einen Haupteffekt des Faktors *Füllhöhe*, $F(1, 120) = 634.97$, $p < .001$, $\eta^2 = .84$. Der Haupteffekt von *Durchmesser* erwies sich jedoch als nicht signifikant, $F(1, 120) = 2.56$, $p = .11$, $\eta^2 = .02$. Ob zuvor die Handlungs-Aufgabe mit oder ohne Sicht gelöst wurde, hatte weder einen Haupteffekt auf die Winkel, $F < 1$, noch Effekt auf die Berücksichtigung der *Füllhöhe*, $F < 1$. Die verschiedenen *Durchmesser* wurde jedoch tendenziell stärker differenziert, wenn das Glas zuvor mit *Sicht* gedreht wurde, $F(1, 120) = 3.48$, $p = .06$, $\eta^2 = .03$. Ob das Glas einen Henkel aufwies oder nicht, interagiert nicht mit den Effekten von *Durchmesser*, $F(1, 120) = 2.44$, $p = .12$, $\eta^2 = .02$, oder *Füllhöhe*, $F(1, 120) = 1.95$, $p = .17$, $\eta^2 = .02$. Eine tendenzielle Interaktion von *Durchmesser*, *Sicht* und *Henkel*, $F(1, 120) = 3.53$, $p = .06$, $\eta^2 = .03$, ist darauf zurückzuführen, dass in der Bedingung visuell / mit Henkel für die breiten Gläser fälschlicherweise grössere Winkel gewählt wurden. Wie in den Handlungs-Aufgaben zuvor, ergab sich ein Haupteffekt von *Alter*, $F(1, 120) = 37.48$, $p < .001$, $\eta^2 = .24$. Die Kinder steckten die Klammer im Mittel bei einem signifikant höheren Winkel auf die Scheibe als die Erwachsenen. Es fanden sich keine signifikanten Alterseffekte bezüglich der Berücksichtigung des Faktors *Durchmesser*, $F < 1$, aber die verschiedenen *Füllhöhen* wurden von den Kindern besser differenziert als von den Erwachsenen, $F(1, 120) = 4.04$, $p < .05$, $\eta^2 = .03$. Alle übrigen Haupteffekte und Interaktionen erwiesen sich als statistisch nicht signifikant, alle $p > .07$, alle $\eta^2 < .03$.

Konsistenzen

Die Korrelationskoeffizienten wurden Fisher-transformiert und gemittelt. Tabelle 11 zeigt die mittleren Konsistenzen für die 7-Jährigen und Erwachsenen in den Bedingungen mit und ohne Henkel und mit und ohne Sicht.

Tabelle 11

Mittlere Konsistenzen (*Pearsons r* und *Fishers Z*), und Standardabweichung von *Fishers Z* für *Alter*, *Henkel* und *Sicht*.

URTEIL	ohne Henkel					
	visuell			blind		
	<i>r</i>	<i>Z</i>	<i>SD</i>	<i>r</i>	<i>Z</i>	<i>SD</i>
7-Jährige	.86	1.29	.63	.92	1.56	.71
Erwachsene	.98	2.21	.59	.95	1.82	.77
	mit Henkel					
	visuell			blind		
	<i>r</i>	<i>Z</i>	<i>SD</i>	<i>r</i>	<i>Z</i>	<i>SD</i>
7-Jährige	.89	1.44	.84	.94	1.74	.59
Erwachsene	.95	1.87	.86	.96	1.96	.68

Die Konsistenzen waren durchwegs sehr hoch. Bei den Erwachsenen schien es keinen begünstigenden Einfluss auf die Konsistenzen zu haben, ob zuvor die Handlungs-Aufgabe mit oder ohne Sicht gelöst wurde. Bei den Kindern zeigten sich, sowohl mit als auch ohne Henkel, sogar leicht höhere Konsistenzen, wenn die Handlungs-Aufgabe zuvor blind ausgeführt wurde.

Einzelanalysen

Für jede Person wurde eine ANOVA gerechnet, mit den unabhängigen Variablen *Durchmesser* und *Füllhöhe* als zweistufige Innersubjekt-Faktoren und den Kippwinkeln als abhängige Variable. Die Kinder und Erwachsenen wurden klassifiziert nach den Faktoren, die jeweils in der Einzel-ANOVA auf 10%-Niveau statistisch signifikant waren. Abbildung 63 und 64 zeigen die Ergebnisse dieser Einzel-ANOVAs für die vier Bedingungen.

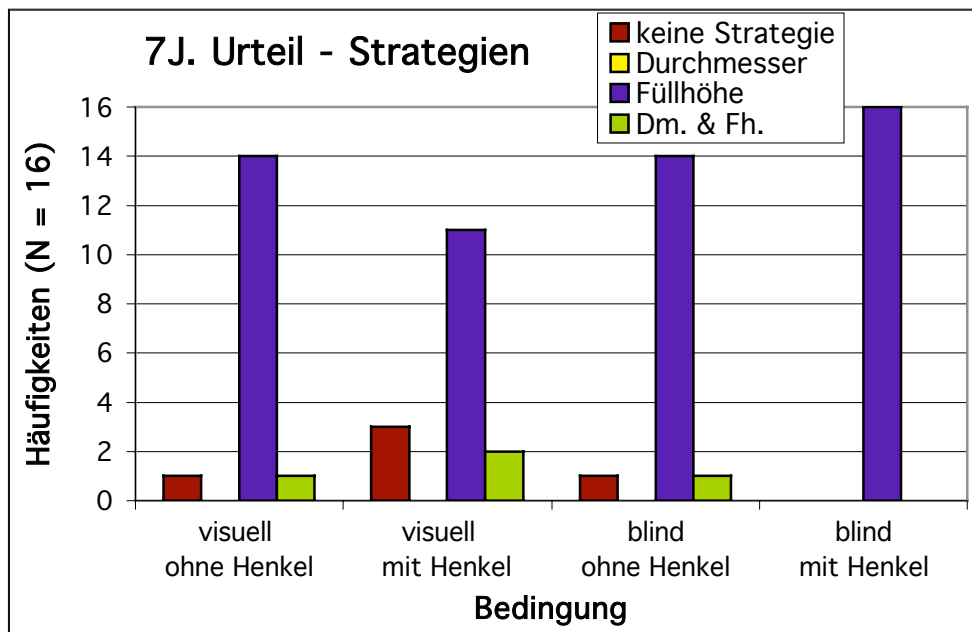


Abbildung 63. Strategien, klassifiziert aufgrund von Einzel-ANOVAs (signifikante Effekte bei $p < .10$) für 7-Jährige in den verschiedenen Bedingungen.

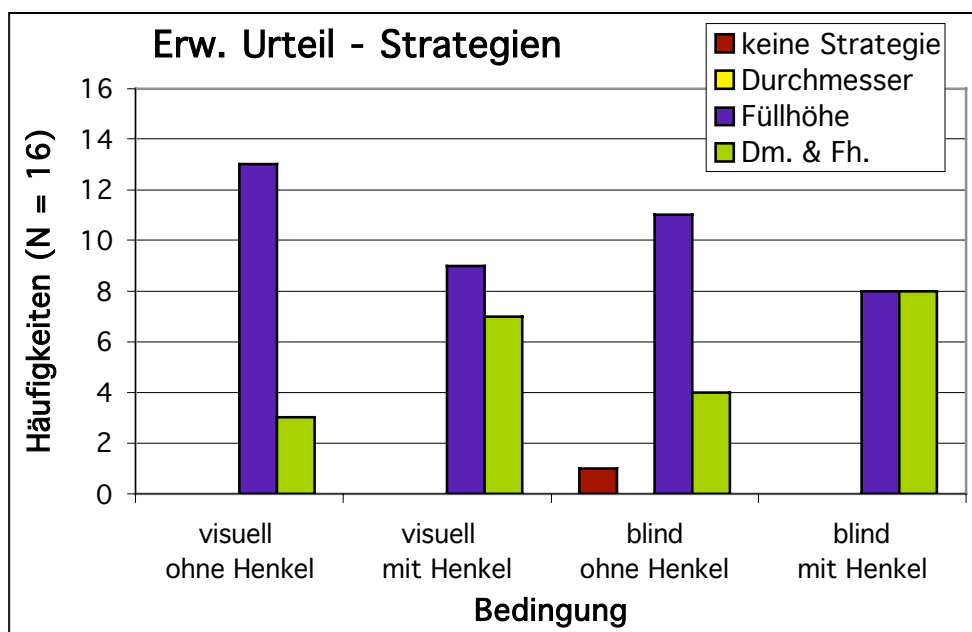


Abbildung 64. Strategien, klassifiziert aufgrund von Einzel-ANOVAs (signifikante Effekte bei $p < .10$) für Erwachsene in den verschiedenen Bedingungen.

In dieser Urteils-Aufgabe zeigten sich bei Kindern überwiegend eindimensionale Strategien. Sie zentrierten vorwiegend – in der Urteils-Aufgabe, die auf die Handlungs-Aufgabe blind / mit Henkel folgte sogar ausschliesslich – auf den Faktor Füllhöhe. Bei den Erwachsenen zeigten sich in dieser Bedingung am häufigsten Integrationsstrategien; es wurde gleich oft auf beide Faktoren geachtet, wie auf die Füllhöhe zentriert wurde. In der Urteils-Aufgabe, die auf die Handlungs-Aufgabe visuell / ohne Henkel folgte, achteten dagegen nur drei Erwachsene auf beide Faktoren.

Eine genauere Analyse davon, in welche Richtung die signifikanten Effekte des Faktors Durchmesser gingen (siehe Experiment 2a), ergab die in Tabelle 12 dargestellten Häufigkeiten und Prozentwerte. Die Tabelle zeigt, dass obwohl vor allem Erwachsene in dieser Urteils-Aufgabe oft auf den Faktor Durchmesser achteten, nur selten für die dünnen Gläser grössere Winkel angegeben wurden (blind nur etwa jede zweite Person, visuell jede dritte Person, mit Henkel gar niemand). Die Unterschiede zwischen den Bedingungen zeigten sich nicht mehr so deutlich wie in den Handlungs-Aufgaben in Experiment 3a und 3b. In dieser Urteils-Aufgabe fanden sich in der Bedingung, in der zuvor das Glas mit Henkel blind gekippt wurde, am meisten Effekte von Durchmesser in der richtigen Richtung. Wieder ergaben sich in den blinden Bedingungen keine inkonsistenten Effekte.

Tabelle 12

Richtung der signifikanten Effekte des Faktors Durchmesser (Häufigkeiten und Prozentwerte), für 4 Bedingungen.

URTEIL	richtig		falsch		inkonsistent	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
visuell ohne Henkel	3	30	5	50	2	20
visuell mit Henkel	-	-	7	77.8	2	22.2
blind ohne Henkel	2	40	3	60	-	-
blind mit Henkel	4	50	4	50	-	-

Diskussion

Die Gruppengraphiken und Varianzanalysen weisen darauf hin, dass Kinder und Erwachsene in den Bedingungen, in denen zuvor das Glas blind gedreht wurde, ausschliesslich den Faktor Füllhöhe beachtet haben, unabhängig davon, ob das Glas einen Henkel hatte oder nicht. Die verschiedenen Durchmesser wurde zwar stärker differenziert, wenn das Glas zuvor mit Sicht gedreht wurde, jedoch wurden hier (v. a. mit Henkel) fälschlicherweise für breite Gläser grössere Winkel angegeben als für dünne Gläser.

Es fanden sich keine signifikanten Alterseffekte bezüglich der Berücksichtigung des Faktors Durchmesser, aber die verschiedenen Füllhöhen wurden von den Kindern eher besser differenziert als von den Erwachsenen, und die Kinder steckten die Klammer im Mittel bei einem signifikant höheren Winkel auf die Scheibe als die Erwachsenen. Wie schon in Experiment 2 ergab sich daher bei Kindern eine geringere Unterschätzung der normativen Winkel.

Auch auf Einzelniveau zeigten sich in dieser Urteils-Aufgabe bei Kindern überwiegend eindimensionale Strategien. In der Urteils-Aufgabe die auf die Handlungs-Aufgabe blind / mit Henkel folgte, zentrierten sie sogar ausschliesslich auf die Füllhöhe. Bei den Erwachsenen zeigten sich in dieser Bedingung am häufigsten Integrationsstrategien; es wurde gleich oft auf beide Faktoren geachtet wie auf die Füllhöhe zentriert. In der Urteils-Aufgabe, die auf die Handlungs-Aufgabe visuell / ohne Henkel folgte, achteten dagegen nur drei Erwachsene auf beide Faktoren. Es zeigte sich aber, dass in dieser Urteils-Aufgabe in allen Bedingungen nur selten für die dünnen Gläser grössere Winkel gewählt wurden als für die breiten.

Interessanterweise gingen hier am meisten Effekte von Durchmesser in die richtige Richtung in der Bedingung, in der zuvor das Glas blind / mit Henkel gekippt wurde, während sich zuvor in der Handlungs-Aufgabe in dieser Bedingung am wenigsten konsistent richtiger Effekte zeigten. Ähnlich verhält es sich mit den Konsistenzen: während sich in den Experimenten 3a und 3b in der blinden Bedingung mit Henkel die niedrigsten Konsistenzen zeigten, ergaben sich in der darauf folgenden Urteils-Aufgabe in dieser Bedingung bei Kindern die höchsten Konsistenzen. Bei den Kindern zeigten sich allgemein leicht höhere Konsistenzen, wenn die Handlungs-Aufgabe zuvor blind ausgeführt wurde. Bei den Erwachsenen schien es keinen begünstigenden Einfluss auf die Konsistenzen zu haben, ob zuvor die Handlungs-Aufgabe mit oder ohne Sicht gelöst wurde.

Möglicherweise handelt es sich hierbei aber um einen Deckeneffekt, denn die Konsistenzen waren generell sehr hoch.

Die höheren Konsistenzen in der Urteils-Aufgabe nach den blind gelösten Handlungs-Aufgaben könnten möglicherweise motivational erklärt werden. Die Kinder und Erwachsenen könnten sich möglicherweise mehr Mühe in der Urteils-Aufgabe gegeben haben, wenn vorher eine schwierigere, blinde Aufgabe gelöst wurde. Dies erklärt aber kaum die häufigeren Effekte des Faktors Durchmesser in richtiger Richtung. Eine weitere mögliche Erklärung für die höheren Konsistenzen wäre, dass durch die vorhergehende schwierigere Aufgabe, in der eine Vorstellung mehr Anstrengung erforderte, eine Vorstellungsstrategie effektiver eingeübt worden ist. Die Kinder und Erwachsenen könnten dadurch mehr auf die Idee gebracht worden sein, auch in der Urteils-Aufgabe eine Vorstellungsstrategie anzuwenden.

Experiment 4

Kurzer Überblick

Frühere Studien haben gezeigt, dass aktiv ausgeführte Handlungen die Vorstellung von dynamischen Vorgängen unterstützen können. Weitgehend unklar ist allerdings, ob motorische Aktivierung per se die Vorstellungsleistungen verbessert, oder lediglich die visuelle Vorstellung begünstigt, indem sie für gleichmässige mentale Transformationen wichtige Anhaltspunkte über Veränderungen in Zeit und Raum liefert.

Um dies zu testen wurde im folgenden Experiment Kindern und Erwachsenen visuelle Information über die Bewegung in der Zeit präsentiert, ohne dass sie dazu eine motorische Drehbewegung ausführten. Die Aufgabe bestand darin, ein leeres Wasserglas mit vorgestelltem Wasser darin so weit zu drehen, dass das vorgestellte Wasser genau zum Glasrand kommen würde – das Glas wurde jedoch nicht von Hand, sondern mithilfe einer Fernbedienung gedreht. Im zweiten Teil des Experiments wurde die Sicht auf das zu drehende Glas und die Versuchsanordnung verdeckt, um zu kontrollieren, ob die Fokussierung auf die Drehzeit alleine schon ausreicht um eine dynamische Vorstellung zu begünstigen. Glasdurchmesser und vorzustellende Füllhöhe wurden je zweistufig variiert. Spezielles Forschungsinteresse galt einer Berücksichtigung des Faktors Glasdurchmesser als Indikator für eine von explizitem Wissen weitgehend unabhängige Vorstellung.

Ohne die visuelle Kontrolle achteten alle Altersgruppen nur auf die Füllhöhe. Die Resultate zeigten, dass bei Kindern ab 7 Jahren und Erwachsenen das Beobachten der Drehung des Glases ausreichend Information bietet, um auch den Durchmesser des Glases signifikant berücksichtigen zu können. Die 5-jährigen Kinder berücksichtigten mit visueller Kontrolle den Glasdurchmesser nicht, lieferten aber sehr konsistente Ergebnisse. Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Motorik bei 5-jährigen Kindern noch einen zentralen Faktor zur Unterstützung von mentalen Transformationen darstellt, während mit zunehmendem Alter mentale Repräsentationen auch ohne unterstützende sensumotorische Information transformiert werden können.

Einleitung

Eine unumstrittene Annahme in der Kognitiven Psychologie ist, dass unsere Handlungen von internen Karten, Plänen, Modellen und anderen mentalen Repräsentationen geleitet werden. Weniger klar ist, inwiefern umgekehrt unsere Handlungen interne Repräsentationen beeinflussen können. Repräsentationen, die auf Handlung reagieren, könnten dabei hilfreich sein, die eigene Aktivität mit den mentalen Erwartungen über die Auswirkungen dieser Aktivität zu koordinieren. Rieser, Garing und Young (1994) und Simons und Wang (1998) zeigten beispielsweise, dass motorische Aktivität, wie eine kurze Distanz blind zu gehen, dabei förderlich sein kann, sich ein räumliches Umfeld von einer anderen Perspektive aus vorzustellen. Weitere Studien zum Zusammenhang motorischer und mentaler Prozesse wurden bereits in der theoretischen Einleitung dieser Arbeit dargelegt. Diesen zufolge leistet die Motorik einen wichtigen Beitrag zur Vorstellungen von dynamischen Vorgängen. Unklar ist bislang, welche Mechanismen für diese Verbesserung der Vorstellungsleistungen verantwortlich sind.

Isomorphie-Hypothese / Direct Mapping

Zur Frage, wie Handlungen die Aktualisierung von räumlichen Repräsentationen erleichtern können, wurde die Hypothese formuliert, dass es eine direkte Beziehung besteht zwischen der Geometrie der Bewegung und der Geometrie der Vorstellungsinhalte. Die Grundannahme dieser Hypothese ist, dass durch die Handlung vermittelte sensumotorische Information einen räumlich isomorphen Effekt auf die Repräsentation hat (Gallistel, 1990). Jeder Schritt um 50 cm vorwärts führt zu einer vorgestellten Vorwärtsbewegung um 50 cm; und eine Handrotation von 90° bewirkt eine Aktualisierung des vorgestellten Objekts in unsere Hand um 90°. Diese Isomorphie-Annahme findet sich auch in Handlungstheorien über *Imagery*, bei denen ein Handlungsplan (im Gegensatz zu einer wahrgenommenen Handlung) die Vorstellung beeinflusst (für einen Überblick siehe Sheerer, 1984). Beispielsweise kann der Plan, die eigene Hand in Uhrzeigersinn zu drehen, eine Aktualisierung der Repräsentation in Uhrzeigersinn bewirken.

Die Isomorphie-Hypothese ist jedoch problematisch im Kontext von Objektbewegungen wie etwa dem Werkzeuggebrauch, wo eine kleine Bewegung zu einem grossen Effekt führen oder eine Bewegung umgelenkt werden kann. Die Annahme einer Eins-zu-eins-Beziehung birgt die Gefahr einer Unterschätzung

der Flexibilität unserer kognitiven Fähigkeiten. Die Isomorphie-Hypothese von Handlung und mentalen Repräsentationen wird ausserdem in Frage gestellt durch die Fähigkeit, mentale Modelle umzuformulieren, so dass die selbe Handlung zu verschiedenen Veränderungen der Vorstellungsinhalte führen kann (Schwartz & Holton, 2000). Auch Rieser und Mitarbeiter (Rieser, Pick, Ashmead, & Garing, 1995) fanden heraus, dass eine Kopplung von Bewegung und repräsentierter Bewegung sehr flexibel ist und leicht an eine andere als die Eins-zu-eins-Beziehung adaptieren kann. Es gibt ausserdem Hinweise dafür, dass Handlungen auch nichträumliche Information generieren, die eine Aktualisierung der Repräsentationen beeinflussen, wie beispielsweise dynamische Information über Reibung und Trägheit (Schwartz, 1999) oder Zeitinformation (Schwartz & Berry, 2000).

Timing-Responsive Representations

Schwartz und Mitarbeiter (Schwartz, 1999; Schwartz & Berry, 2000; Schwartz & Black, 1999) schlagen eine Alternative vor um den Einfluss von Handlung auf die Vorstellung zu erklären. Sie gehen davon aus, dass mentale Repräsentationen auf Zeitinformation ansprechen. Wenn sich Personen in ihrem Umfeld bewegen, generieren ihre Handlungen Zeitsignale, die Information über Veränderungen liefern. Die mentalen Repräsentationen sind abhängig von diesen Zeitsignalen und eine Aktualisierung erfolgt auf Basis dieses Taktes. So wird beispielsweise pro Zeiteinheit die Repräsentation um einen Schritt rekaliert. Ohne einen solchen Rhythmus ist es laut Schwartz und Holton (2000) schwieriger, mentale Repräsentationen zu transformieren. Die Autoren nahmen an, dass die manuelle Drehung des Glases in der Wasserglas-Kipp-Aufgabe (Schwartz & Black, 1999) Zeitinformation generiert, welche die Vorstellung der Wasserbewegung vereinfacht. Ohne den Rhythmus der Handlung müsste man den Takt für die mentale Transformation intern generieren, was für einige Aufgaben sehr schwierig sein könnte. Eine kontinuierliche Transformation wäre möglicherweise gar nicht denkbar und stattdessen würden die Repräsentationen in unterschiedlichen Raten von einer statischen Zwischenposition zur nächsten springen.

Nach Schwartz und Holton (2000) ist also nicht die Bewegung diejenige Komponente der Handlung, welche eine kontinuierliche Transformation der mentalen Inhalte begünstigt, sondern die dadurch vermittelte zeitliche Information. Wenn dies so wäre, dann könnte theoretisch Zeitinformation auch ohne Handlung und ohne räumliche Bewegung ausreichen, um kontinuierliche

Transformationen in der Vorstellung zu begünstigen, zumindest solange die Beziehung zwischen der Zeit und der räumlichen Veränderung klar ist. Falls jedoch die fortlaufende (visuelle oder sensumotorische) Rückmeldung über die Position des Objekts zu jedem beliebigen Zeitpunkt die Komponente der Handlung sein sollte, die eine kontinuierliche mentale Transformation ermöglicht, dann wäre eine rein zeitliche Information zu wenig informativ. Eine rein visuelle Information darüber, wie beispielsweise eine andere Person die Handlung durchführt, könnte jedoch ausreichen um die mentale Transformation kontinuierlich ausführen zu können.

Das folgende Experiment befasst sich daher mit der Frage, ob die motorische Aktivierung an sich für die beobachteten Verbesserungen der Vorstellungsleistungen verantwortlich ist, oder ob sie nur die visuelle Vorstellung begünstigt, da sie für gleichmässige mentale Transformationen wichtige Information und *Anhaltspunkte* über Veränderungen in Zeit und Raum liefert. Es wurde daher eine Aufgabe präsentiert, in der zwar die Information über die Veränderungen in Zeit und Raum visuell zu Verfügung standen, ohne dass aber eine entsprechende motorische Bewegung durchgeführt wurde. Dies wurde erreicht, indem ein ferngesteuerter Motor das Glas vor Augen der Kinder und Erwachsenen in konstantem Tempo drehte. Die Kinder und Erwachsenen sollten lediglich den Punkt bestimmen, an welchem das Wasser den Glasrand erreichen würde. In einer zweiten Aufgabe wurde auch die visuelle Information eliminiert. So sollte getestet werden, ob die Zeitinformation alleine schon ausreicht um akkurate Vorstellungen zu begünstigen. Spezielles Forschungsinteresse galt wiederum einer Berücksichtigung des Faktors Durchmesser als Indikator für eine normative und von explizitem Wissen unabhängige Vorstellung.

Experiment 4a (Aufgabe mit Motor, visuell)

Methode

Teilnehmerinnen und Teilnehmer

An Experiment 4 nahmen 48 Kinder und 16 Erwachsene teil. Diese wurden aufgeteilt in vier Altersgruppen, die der Einfachheit halber im Folgenden mit „5-Jährige“ (Altersbereich = 5;2 – 6;9, mittleres Alter = 5;11), „7-Jährige“ (Altersbereich = 6;11 – 8;2, mittleres Alter = 7;5), „9-Jährige“ (Altersbereich = 8;7 – 9;10, mittleres Alter = 9;2), und Erwachsene (Altersbereich = 19;10 – 38;9, mittleres Alter = 29;0) bezeichnet werden. Jede Kindergruppe umfasste 8 Jungen und 8 Mädchen. Die Kinder wurden in einer Ferien-Betreuungsstätte der Universität und der ETH Zürich, Zürcher Kindergärten und Primarschulen rekrutiert. Die Eltern gaben ihr schriftliches Einverständnis. Die Erwachsenen Gruppe setzte sich zusammen aus 7 Männer und 9 Frauen. Diese waren Betreuerinnen der oben genannten Kinder, Studierende, Praktikanten und Mitarbeitende der ETH und der Universität Zürich.

Versuchsmaterial

Es wurde dasselbe Versuchsmaterial verwendet wie in Experiment 2a (Gläser ohne Henkel). Die Gläser sollten im Gegensatz zu Experiment 2 jedoch nicht von Hand gedreht werden, sondern mithilfe eines Motors. Der Motor war am hinteren Teil der Apparatur befestigt und bewegte die Drehachse. Über eine Fernbedienung mit zwei Kipptasten konnte der Motor von den Kindern und Erwachsenen selbst bedient werden (siehe Abbildung 65). Die linke Taste bewirkte eine Drehung gegen den Uhrzeigersinn, die rechte Taste eine Drehung im Uhrzeigersinn. Bei Loslassen der Tasten stoppte die Drehung sofort. Die Drehgeschwindigkeit war 12 Winkelgrad pro Sekunde. Beim Drehen des Motors gab dieser ein leises Summen von 43 dB von sich, welches in Hördistanz noch 33 dB laut war. Dies entspricht etwa einem Flüstern aus 5 Metern Entfernung oder dem eigenen Atemgeräusch.

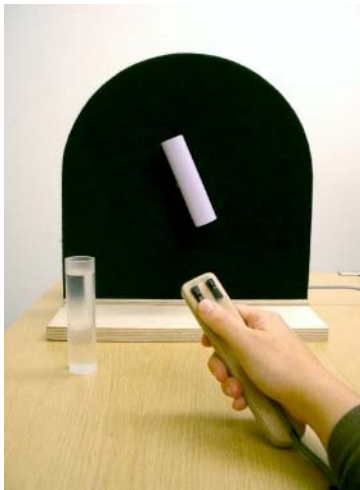


Abbildung 65. Versuchsaufbau und Fernbedienung des Motors (Versuchs-Perspektive).

Versuchsdesign

Wie in Experiment 2 wurde ein vollständiges faktorielles Messwiederholungs-Design angewendet, mit den Innersubjekt-Faktoren *Durchmesser* (2) x *Füllhöhe* (2) x *Messwiederholung* (3). Die Messwiederholungen wurden geblockt dargeboten und die Reihenfolge der Stimuli innerhalb der Blöcke wurde durch ein Randomisierungsprogramm hergestellt. Es wurden 2 Probetrials und 12 Versuchstrials präsentiert. Die Reihenfolge der Probetrials wurde zwischen den Teilnehmerinnen und Teilnehmern zufällig abgewechselt.

Gemessen wurde der Winkel des gedrehten Glases in Grad. Verbale Äußerungen über benutzte Strategien wurden ganz am Ende des Experiments 4 erhoben und von der Versuchsleiterin stichwortartig auf dem Protokollblatt notiert.

Versuchsablauf

Das Vorgehen war gleich wie in Experiment 2 bis zum ersten Probetrial. In diesem konnte das Glas zuerst ebenfalls von Hand gedreht werden, der Probetrial wurde dann aber nochmals wiederholt indem das Glas mit dem Motor gedreht werden sollte. Der zweite Probetrial wurde dann direkt mit der Fernsteuerung ausgeführt. Danach folgten ebenfalls 12 Versuchstrials.

Resultate & Interpretation

Datenaufbereitung

Wie in Experiment 2, wurden auch hier die Daten der Kinder und Erwachsenen, die im Uhrzeigersinn gedreht hatten, in von 0° ansteigende Winkel umgerechnet.

Gruppenanalysen

Abbildung 66 zeigt das normative Muster welches resultieren würde, wenn man die Gläser mit Wasser gefüllt drehen würde bis das Wasser den Glasrand erreicht. Da dasselbe Versuchsmaterial verwendet wurde wie in Experiment 2, ist auch diese Normgraphik identisch mit der dort gezeigten.

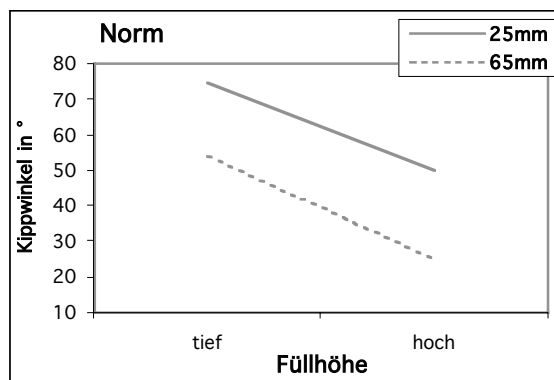


Abbildung 66. Ideales Muster der Drehwinkel in Abhängigkeit von dem Durchmesser und der Füllhöhe des Glases.

Die Abbildungen 67 bis 70 zeigen die Muster, die von den vier Altersgruppen produziert wurden. In hellgrau ist jeweils zum Vergleich das normative Muster abgebildet. Die Gruppengraphiken zeigen, dass alle Altersgruppen im Mittel die Gläser mit niedriger Füllhöhe in korrekter Weise weiter gedreht haben als höher gefüllte Gläser. Nur die älteren Kinder und die Erwachsenen drehten die dünnen Gläser deutlich weiter als die breiteren, während bei den 5-Jährigen die beiden Linien für das dünne und das breite Glas beinahe aufeinander liegen.

Es wurde für jede Altersgruppe eine Varianzanalyse (*Durchmesser* (2) x *Füllhöhe* (2)) gerechnet, mit über die Messwiederholungen gemittelten Drehwinkeln als abhängige Variablen. Die statistischen Kennwerte aus diesen Analysen sind der Übersicht halber neben den Gruppengraphiken (Abbildungen 8 bis 11) notiert. Die Analysen ergaben signifikante Haupteffekte des Faktors *Füllhöhe* in allen Altersgruppen. Der Faktor *Durchmesser* war bei den älteren Kindern und den Erwachsenen signifikant, nicht jedoch bei den 5-Jährigen.

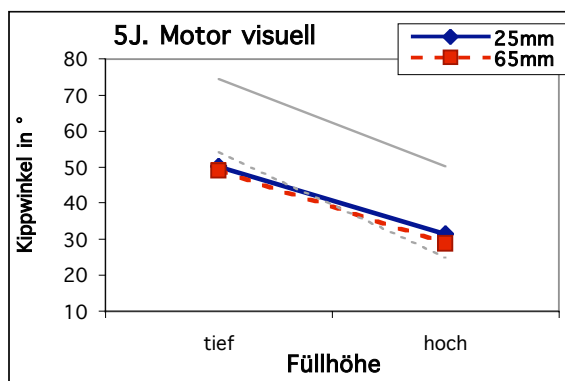


Abbildung 67. Gruppenmittelwerte der Drehwinkel der 5-Jährigen, visuell.

Durchmesser:

$$F(1, 15) = 2.80, p = .12, \eta^2 = .16$$

Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 29.18, p < .001, \eta^2 = .66$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F < 1$$

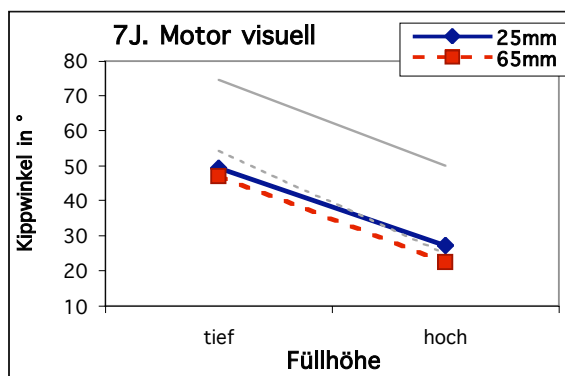


Abbildung 68. Gruppenmittelwerte der Drehwinkel der 7-Jährigen, visuell.

Durchmesser:

$$F(1, 15) = 6.82, p < .05, \eta^2 = .31$$

Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 117.21, p < .001, \eta^2 = .89$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 1.14, p = .30, \eta^2 = .07$$

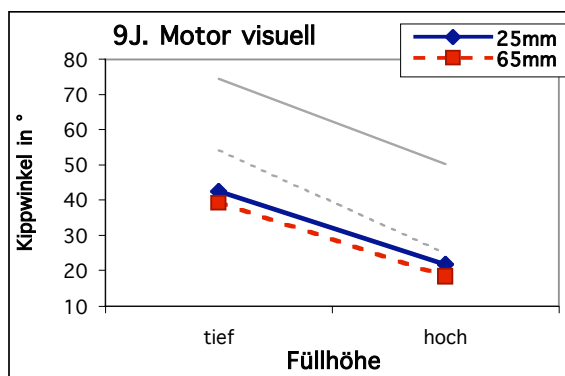


Abbildung 69. Gruppenmittelwerte der Drehwinkel der 9-Jährigen, visuell.

Durchmesser:

$$F(1, 15) = 33.72, p < .001, \eta^2 = .69$$

Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 190.20, p < .001, \eta^2 = .93$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F < 1$$

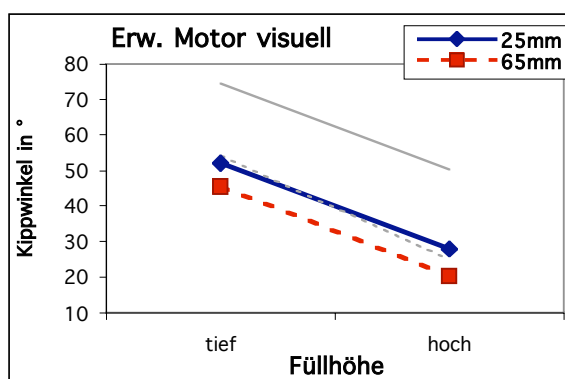


Abbildung 70. Gruppenmittelwerte der Drehwinkel der Erwachsenen, visuell.

Durchmesser:

$$F(1, 15) = 36.04, p < .001, \eta^2 = .71$$

Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 509.25, p < .001, \eta^2 = .97$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F < 1$$

Eine Gesamt-ANOVA, mit über die drei Messwiederholungen gemittelten Drehwinkeln als abhängige Variablen, den Innersubjekt-Faktoren *Durchmesser* (2) und *Füllhöhe* (2) und den Zwischensubjekt-Faktoren *Altersgruppe* (4) und *Geschlecht* (2), ergab weder einen Haupteffekt von *Geschlecht*, $F < 1$, noch eine Interaktion von *Geschlecht* und *Durchmesser*, $F(1, 56) = 2.79$, $p = .10$, $\eta^2 = .05$, oder von *Geschlecht* und *Füllhöhe*, $F < 1$. Daher und zu Gunsten der Interpretierbarkeit aller übrigen Effekte, wurde in den Folgenden Analysen auf einen Mit- einbezug des Faktors *Geschlecht* verzichtet.

Es wurde eine Gesamt-ANOVA gerechnet, mit über die Messwiederholungen gemittelten Drehwinkeln als abhängige Variablen, mit den Innersubjekt-Faktoren *Durchmesser* (2) und *Füllhöhe* (2) und dem Zwischensubjekt-Faktor *Altersgruppe* (4). Es zeigten sich signifikante Haupteffekte der Faktoren *Füllhöhe*, $F(1, 60) = 336.57$, $p < .001$, $\eta^2 = .86$, und *Durchmesser*, $F(1, 60) = 51.99$, $p < .001$, $\eta^2 = .46$, und eine signifikante Interaktion zwischen *Durchmesser* und *Altersgruppe*, $F(3, 60) = 4.15$, $p < .05$, $\eta^2 = .17$. Die verschiedenen Füllhöhen wurden demnach von allen Altersgruppen gleich stark differenziert, die verschiedenen Durchmesser wurden jedoch von den älteren Kindern stärker beachtet. Dies zeigt sich auch in graduell ansteigenden Effektstärken (partielles Eta-Quadrat) von $\eta^2 = .16$ für die 5-Jährigen bis $\eta^2 = .71$ für die Erwachsenen. Ein Haupteffekt des Faktors *Altersgruppe* war nur als Trend zu erkennen, $F(3, 60) = 2.72$, $p = .05$, $\eta^2 = .12$. Alle übrigen Interaktionen erwiesen sich als statistisch nicht signifikant, alle $p > .16$, $\eta^2 < .05$.

Absolute Werte

In dieser Aufgabe lagen alle Drehwinkel etwa im Bereich der breiten Gläser. Es fanden sich im Gegensatz zu Experiment 2 keine Altersunterschiede zwischen den beiden jüngsten und den beiden ältesten Altersgruppen bezüglich der absoluten Drehwinkel. Die oben erwähnte Gesamt-ANOVA zeigte zwar einen Trend des Faktors *Altersgruppe*, dieser ist aber vor allem durch leicht niedrigere Drehwinkel der 9-Jährigen im Vergleich zu den drei anderen Altersgruppen zu erklären. Die 9-Jährigen unterschätzen die Drehwinkel etwas stärker, speziell bei tiefer Füllhöhe.

Konsistenzen

Als Kennwert für die Konsistenz der Daten wurde für jede Person die Pearson Korrelation zwischen jeweils zwei Messwiederholungen berechnet, Fisher-transformiert und gemittelt. Tabelle 13 zeigt die mittleren Konsistenzen für die vier Altersgruppen.

Tabelle 13

Mittlere Konsistenzen (*Pearsons r* und *Fishers Z*), und Standardabweichung von *Fishers Z*.

	MOTOR visuell		
	<i>r</i>	<i>Z</i>	<i>SD</i>
5-Jährige	.71	.90	.79
7-Jährige	.92	1.62	.55
9-Jährige	.95	1.82	.63
Erwachsene	.97	2.16	.58

Die Konsistenzen waren durchwegs sehr hoch. Speziell die 5-Jährigen zeigten bei dieser Aufgabe mit Motor eine sehr hohe Konsistenz. Die Konsistenzen der 5-Jährigen waren sogar bedeutend höher als in Experiment 2c, wo das Glas nicht manuell gekippt werden sollte, sondern eine Klammer an den Scheibenrand gesteckt wurde.

Einzelanalysen

Wie in Experiment 2 wurde für jede Person eine ANOVA gerechnet, mit den unabhängigen Variablen *Durchmesser* und *Füllhöhe* als zweistufige Innersubjekt-Faktoren und den über die Messwiederholungen gemittelten Drehwinkeln als abhängige Variable. Die Kinder und Erwachsenen wurden klassifiziert nach den Faktoren, die jeweils in der Einzel-ANOVA auf 10%-Niveau statistisch signifikant waren. Abbildung 71 zeigt die Ergebnisse dieser Einzel-ANOVAs für alle Altersgruppen.

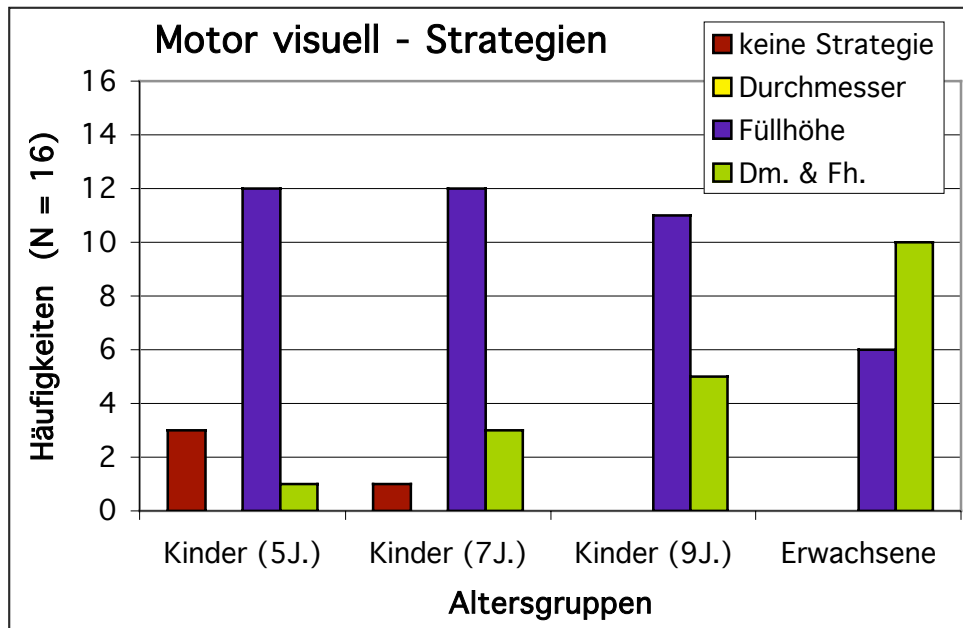


Abbildung 71. Strategien, klassifiziert aufgrund von Einzel-ANOVAs (signifikante Effekte bei $p < .10$) in den verschiedenen Altersgruppen.

Im Gegensatz zu den vorherigen Experimenten, in denen etwa die Hälfte der 5-Jährigen keine nachvollziehbare Strategie erkennen liessen, zeigten hier nur 3 der 5-Jährigen und ein 7-jähriges Kind keinerlei signifikante Effekte. Es wurde auch von keinem Kind oder Erwachsenen ausschliesslich der Durchmesser berücksichtigt. Die vorherrschende Strategie auf Einzelniveau war bei Kindern eine alleinige Berücksichtigung des Faktors Füllhöhe. Mit zunehmendem Alter zeigte sich ein Anstieg der korrekten Berücksichtigung von Durchmesser und Füllhöhe. Bei Erwachsenen war diese Strategie vorherrschend.

Eine genauere Analyse davon, in welche Richtung die signifikanten Effekte des Faktors Durchmesser gingen (siehe Experiment 2a), zeigte, dass 89.5% der Kinder und Erwachsenen konsistent das dünne Glas weiter drehten, ein 7-Jähriger (5.3%) drehte konsistent das dicke Glas weiter und ein 7-Jähriger drehte inkonsistent das dünne Glas oder das dicke Glas weiter.

Diskussion

Die verschiedenen Füllhöhen wurden von allen Altersgruppen gleich stark differenziert, die verschiedenen Durchmesser wurden jedoch von den älteren Kindern stärker beachtet. Die Gruppenanalysen deuten darauf hin, dass alle Altersgruppen beide Dimensionen, Durchmesser und Füllhöhe beachtet haben, ausser die 5-Jährigen, die auf die Füllhöhe zentrierten. Während also bei älteren Kindern und Erwachsenen auch ohne aktiv ausgeführte Drehbewegung eine Differenzierung des Durchmessers möglich war, reichte die ausschliesslich visuelle Information über die Drehbewegung bei den 5-Jährigen dazu nicht aus. Im Gegensatz zu Experiment 2a, wo sie das Glas selber manuell kippen konnten, beachtetten sie hier nur noch die Füllhöhe.

Es fanden sich jedoch im Gegensatz zu den Experimenten in denen die Kinder und Erwachsenen die Gläser aktiv kippen konnten keine Altersunterschiede bezüglich der absoluten Genauigkeit der Drehwinkel. Alle Altersgruppen drehten die Gläser näher an die normativen Werte der breiten Gläser. Auch die Konsistenzen der 5-Jährigen waren in dieser Aufgabe mit Motor sehr hoch. Offenbar ermöglichte die langsame und stete Drehbewegung mit dem Motor eine sehr präzise Einstellung. Möglicherweise kamen in dieser Aufgabe eventuelle feinmotorische Unsicherheiten gerade der jüngsten Kinder nicht so sehr zum Tragen. Die Konsistenzen der 5-Jährigen waren jedoch auch bedeutend höher als in Experiment 2c, wo das Glas nicht manuell gekippt werden sollte, sondern eine Klammer an den Scheibenrand gesteckt wurde. Denkbar wäre demnach auch, dass die stete und langsame Drehung vorteilhaft war für das Aufrechterhalten der mentalen Repräsentation des Wasserspiegels. In der Aufgabe in der die Kinder und Erwachsenen das Glas selber drehten, taten sie dies vielleicht schneller oder ruckartiger, womit die Gefahr bestand, dass sie das Vorstellungsbild verloren.

Die kleinsten Kinder drehten die Gläser also nicht generell ungenauer. Der Effekt des Faktors Durchmesser hat folglich nicht etwa aufgrund von mehr Fehlervarianz keine statistische Signifikanz erreicht, sondern der Durchmesser wurde höchst wahrscheinlich von den kleinsten Kindern weniger oder gar nicht berücksichtigt. Bestätigt wird diese Annahme durch die Resultate aus den Einzelanalysen. Nur sehr wenige der kleinen Kinder zeigten hier keinen signifikanten Effekt. Die vorherrschende Strategie auf Einzelniveau war bei Kindern eine alleinige Berücksichtigung des Faktors Füllhöhe. Mit zunehmendem Alter zeigten sich jedoch vermehrt zweidimensionale Strategien, und wenn der Durch-

messer berücksichtigt wurde, dann ging der Effekt auch meistens in die richtige Richtung. In Zusammenhang mit den Ergebnissen aus Experiment 1 und 2, in denen der Durchmesser auch von den 5-Jährigen berücksichtigt wurde, wenn sie die Gläser aktiv kippen konnten, weisen diese Resultate darauf hin, dass eine aktiv ausgeführte Handlung bei jüngeren Kindern noch einen zentralen Faktor zur Unterstützung von mentalen Transformationen darstellt. Mit zunehmendem Alter können mentale Repräsentationen jedoch auch unabhängig von unterstützender sensumotorischer Information transformiert werden.

Experiment 4b (Aufgabe mit Motor, blind)

Methode

Teilnehmerinnen und Teilnehmer

Es nahmen dieselben Kinder und Erwachsenen teil wie in Experiment 4a.

Versuchsmaterial

Es wurde dasselbe Versuchsmaterial verwendet wie in Experiment 4a. Zusätzlich wurde derselbe Vorhang wie in Experiment 3 verwendet, um die Sicht auf die Versuchsapparatur und das zu drehende Glas zu verdecken.

Versuchsdesign

Das Versuchsdesign war identisch mit Experiment 4a. Gemessen wurde der Drehwinkel in Grad. Verbale Äusserungen über Strategien wurden am Ende von Experiment 4 erfragt und stichwortartig notiert.

Die Kinder und Erwachsenen lösten jeweils zuerst die Aufgabe mit Sicht (Experiment 4a). Danach wurde mit dem schwarzen Vorhang die Sicht auf das Experimental-Glas und die Versuchsapparatur verdeckt (Experiment 4b). Es wurde darauf verzichtet, die Reihenfolge dieser beiden Aufgaben auszubalancieren. Die Aufgabe ohne Sicht wurde immer an zweiter Stelle gezeigt, damit die Kinder und Erwachsenen sich während 14 Trials (2 Probe- und 12 Experimental-trials) an die Geschwindigkeit des Motors gewöhnen konnten. Dieses vorhergehende wiederholte Sehen der Bewegung war nötig um die Beziehung zwischen Drehwinkel und Zeit zu erlernen.

Versuchsablauf

Das Vorgehen war gleich wie in Experiment 4a. Die Kinder und Erwachsene wurden instruiert, dass sie jetzt das gleiche tun sollten wie vorher, nur dieses Mal ohne hin zu sehen. Der Vorhang wurde vor dem Versuchsaufbau positioniert, so dass das Referenz-Glas noch gut sichtbar war. Die Kinder und Erwachsene wurden gebeten, so lange auf die Taste zu drücken wie sie dachten, dass das Glas gedreht werden müsste, bis das Wasser zum Rand kommt.

Obwohl das Glas hinter dem Vorhang für die Kinder und Erwachsenen nicht sichtbar war, wurde es immer ausgewechselt, einerseits damit der Versuch gleich lange dauerte wie ohne Vorhang, und andererseits weil die Geräusche und die Bewegung des Auswechselns die Vorstellung des Glases möglicherweise unterstützten.

Resultate & Interpretation

Gruppenanalysen

Die Abbildungen 72 bis 75 zeigen die Muster, die von den vier Altersgruppen ohne Sicht produziert wurden. Die beinahe perfekt aufeinander liegenden und nach rechts hin abfallenden Graphen in den Abbildungen 72, 74 und 75 deuten darauf hin, dass die 5-Jährigen, 9-Jährigen und Erwachsenen die Füllhöhe im Mittel korrekt berücksichtigten, den Durchmesser jedoch nicht beachteten. Die 7-Jährigen differenzierten die verschiedenen Durchmesser bei niedriger Füllhöhe (Abbildung 73), jedoch drehten sie fälschlicherweise im Mittel die breiten Gläser weiter als die dünnen.

Für die vier Altersgruppen getrennte Varianzanalysen (*Durchmesser* (2) x *Füllhöhe* (2)) mit den über die Messwiederholung gemittelten Drehwinkeln, ergaben signifikante Haupteffekte des Faktors *Füllhöhe* in allen Altersgruppen. Der Haupteffekt des Faktors *Durchmesser* erwies sich bei den 7-Jährigen als signifikant. Bei den Erwachsenen zeigte sich eine statistisch signifikante Interaktion von *Durchmesser* und *Füllhöhe*. In Abbildung 75 zeigt sich diese Interaktion in einer leichten Überkreuzung der Geraden.

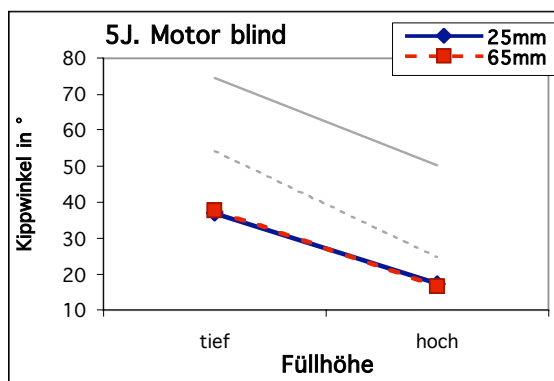


Abbildung 72. Gruppenmittelwerte der Drehwinkel der 5-Jährigen, blind.

Durchmesser:

$$F < 1$$

Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 76.84, p < .001, \eta^2 = .84$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F < 1$$

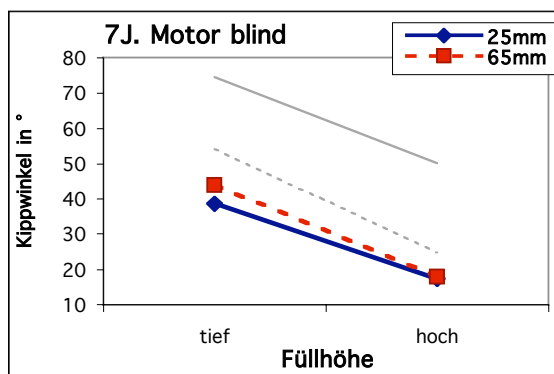


Abbildung 73. Gruppenmittelwerte der Drehwinkel der 7-Jährigen, blind.

Durchmesser:

$$F(1, 15) = 5.17, p < .05, \eta^2 = .26$$

Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 122.37, p < .001, \eta^2 = .89$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 2.56, p = .13, \eta^2 = .15$$

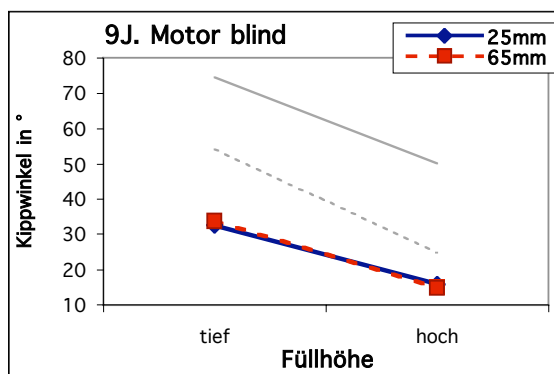


Abbildung 74. Gruppenmittelwerte der Drehwinkel der 9-Jährigen, blind.

Durchmesser:

$$F < 1$$

Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 109.68, p < .001, \eta^2 = .88$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 1.59, p = .23, \eta^2 = .10$$

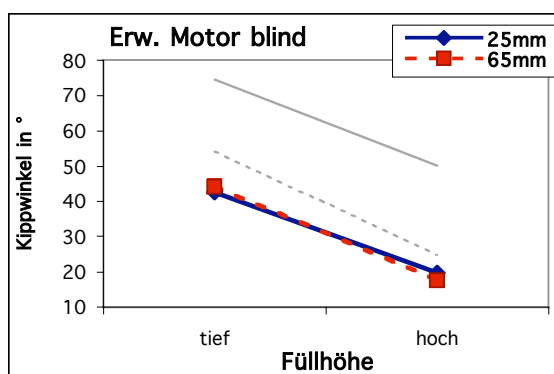


Abbildung 75. Gruppenmittelwerte der Drehwinkel der Erwachsenen, blind.

Durchmesser:

$$F < 1$$

Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 66.34, p < .001, \eta^2 = .82$$

Durchmesser x Füllhöhe:

$$F(1, 15) = 12.58, p < .01, \eta^2 = .46$$

Eine Gesamt-ANOVA, mit über die drei Messwiederholungen gemittelten Drehwinkeln als abhängige Variablen, den Innersubjekt-Faktoren *Durchmesser* (2) und *Füllhöhe* (2) und den Zwischensubjekt-Faktoren *Altersgruppe* (4) und *Geschlecht* (2), ergab weder einen Haupteffekt von *Geschlecht*, $F < 1$, noch eine Interaktion von *Geschlecht* und *Durchmesser*, $F < 1$, oder von *Geschlecht* und *Füllhöhe*, $F(1, 56) = 2.26$, $p = .14$, $\eta^2 = .04$. Daher und zu Gunsten der Interpretierbarkeit aller übrigen Effekte, wurde in den Folgenden Analysen auf einen Miteinbezug des Faktors *Geschlecht* verzichtet.

Es wurde eine Gesamt-ANOVA gerechnet, mit den über die Messwiederholungen gemittelten Drehwinkeln als abhängige Variablen, mit den Innersubjekt-Faktoren *Durchmesser* (2) und *Füllhöhe* (2) und dem Zwischensubjekt-Faktor *Altersgruppe* (4). Es zeigte sich ein signifikanter Haupteffekte des Faktors *Füllhöhe*, $F(1, 60) = 338.75$, $p < .001$, $\eta^2 = .85$, und eine signifikante Interaktion zwischen *Durchmesser* und *Füllhöhe*, $F(1, 60) = 8.12$, $p < .01$, $\eta^2 = .12$. Die Haupteffekte der Faktoren *Durchmesser*, $F(1, 60) = 1.24$, $p = .27$, $\eta^2 < .02$, und *Altersgruppe*, $F(3, 60) = 1.01$, $p = .40$, $\eta^2 < .05$, erwiesen sich als nicht signifikant, und ebenso alle übrigen Interaktionen, alle $p > .13$, $\eta^2 < .09$. Es wurde also ausschließlich und von allen Altersgruppen gleich stark auf die Füllhöhe geachtet.

Absolute Werte

In dieser Bedingung wurden die Drehwinkel stark unterschätzt. Der nicht signifikante Alterseffekt in der oben genannten Gesamt-ANOVA zeigt, dass alle Altersgruppen die Drehwinkel in gleichem Masse unterschätzten. Kinder und Erwachsene drückten also im Mittel zu kurze Zeit auf die Taste der Fernbedienung.

Vergleich Experiment 4a – 4b

Um die beiden Aufgaben mit und ohne Sicht zu vergleichen, wurde eine ANOVA gerechnet, mit den Innersubjekt-Faktoren *Durchmesser* (2) und *Füllhöhe* (2) und dem Zwischensubjekt-Faktor *Aufgabe* (2: mit vs. ohne Sicht) und *Altersgruppe* (4). Blind wurden die Gläser signifikant weniger weit gedreht als mit Sicht, $F(1, 60) = 39.70$, $p < .001$, $\eta^2 = .40$, und die verschiedenen Durchmesser signifikant weniger differenziert, $F(1, 60) = 40.78$, $p < .001$, $\eta^2 = .41$. Die Sicht hatte aber keinen Einfluss auf den Effekt der Füllhöhe, $F < 1$. Des Weiteren

zeigte sich eine knapp nicht signifikante aber einigermaßen effektstarke Interaktion zwischen *Durchmesser*, *Altersgruppe* und *Aufgabe*, $F(3, 60) = 2.53$, $p = .07$, $\eta^2 = .11$, die vor allem darauf zurückzuführen ist, dass die 7-Jährigen in der Aufgabe ohne Sicht den Durchmesser falsch herum berücksichtigten und die anderen Altersgruppen gar nicht, während der Effekt des Durchmessers mit Sicht bei allen Altersgruppen in die richtige Richtung ging. Sonst zeigten sich keine Interaktionen des Faktors *Aufgabe* mit irgendeinem anderen Faktor, alle $p > .15$, $\eta^2 < .09$.

Konsistenzen

Als Kennwert für die Konsistenz der Daten wurde für jede Person die Pearson Korrelation zwischen jeweils zwei Messwiederholungen berechnet, Fisher-transformiert und gemittelt. Tabelle 14 zeigt die mittleren Konsistenzen für die vier Altersgruppen. Die Konsistenzen waren in allen Altersgruppen sehr hoch, bei den 5-Jährigen sogar noch höher als in Experiment 4a mit Sicht.

Tabelle 14

Mittlere Konsistenzen (*Pearsons r* und *Fishers Z*), und Standardabweichung von *Fishers Z*.

	MOTOR blind		
	<i>r</i>	<i>Z</i>	<i>SD</i>
5-Jährige	.85	1.24	.45
7-Jährige	.92	1.58	.61
9-Jährige	.88	1.40	.54
Erwachsene	.96	1.98	.33

Einzelanalysen

Für jede Person wurde eine ANOVA gerechnet, mit den unabhängigen Variablen *Durchmesser* und *Füllhöhe* als zweistufige Innersubjekt-Faktoren und den über die Messwiederholungen gemittelten Drehwinkeln als abhängige Variable. Die

Kinder und Erwachsenen wurden klassifiziert nach den Faktoren, die jeweils in der Einzel-ANOVA auf 10%-Niveau statistisch signifikant waren. Abbildung 76 zeigt die Ergebnisse dieser Einzel-ANOVAs für alle Altersgruppen.

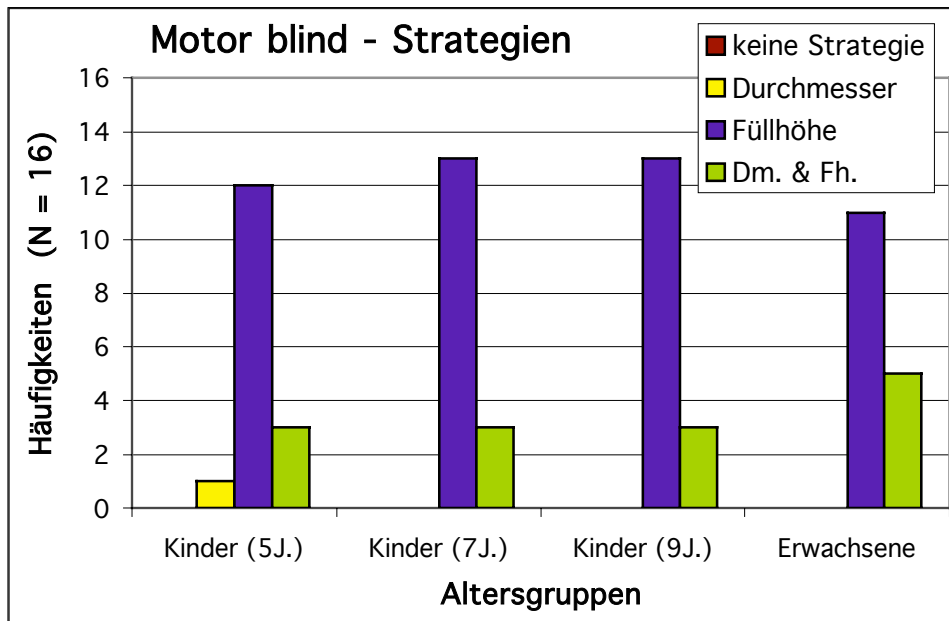


Abbildung 76. Strategien, klassifiziert aufgrund von Einzel-ANOVAs (signifikante Effekte bei $p < .10$) in den verschiedenen Altersgruppen.

Wie die Gruppenanalysen liessen auch die Einzelanalysen keinen deutlichen Alterstrend erkennen. Alle Altersgruppen zeigten vorwiegend Zentrierungen auf den Faktor Füllhöhe. Selbst bei den Erwachsenen war die Zentrierung auf die Füllhöhe die dominante Strategie. 3 bis 5 Personen in jeder Altersgruppe schienen den Durchmesser mit zu berücksichtigen. Keine einzige Strategie war nicht zuordenbar.

Eine genauere Analyse (siehe Experiment 2a) davon, in welche Richtung die signifikanten Effekte des Faktors Durchmesser gingen, zeigte, dass nur 26.7% der Kinder und Erwachsenen konsistent das dünne Glas weiter drehten, 53.3% drehten konsistent das dicke Glas weiter und 20% drehten inkonsistent das dünne Glas oder das dicke Glas weiter. Von den oben gelb und grün dargestellten 15 Berücksichtigungen des Faktors Durchmesser gingen also nur 4 in die richtige Richtung.

Diskussion

Die Resultate weisen darauf hin, dass in dieser Aufgabe ohne visuelle und sensu-motorische Information über die Drehbewegung, ausschließlich und von allen Altersgruppen gleich stark auf die Füllhöhe geachtet wurde. Der Faktor Durchmesser wurde entweder gar nicht oder falsch herum berücksichtigt: einzig die 7-Jährigen schienen zwar den Durchmesser zu beachten, jedoch drehten sie fälschlicherweise die breiten Gläser weiter als die dünnen.

In dieser Bedingung wurden die Drehwinkel stark unterschätzt und dies von allen Altersgruppen in vergleichbarem Ausmass. Ohne visuelle Kontrolle unterschätzten Kinder und Erwachsene also generell die Zeit, in der sie die Taste der Fernbedienung hätten drücken müssen, damit das Glas zu dem objektiv richtigen Winkel gelangte. Während blind verglichen mit Experiment 4a die Durchmesser weniger stark differenziert wurden, hatte die Sicht auf die Berücksichtigung der Füllhöhe keinerlei Einfluss.

In Übereinstimmung mit den Gruppenanalysen liessen auch die Einzelanalysen keinen deutlichen Alterstrend erkennen und alle Altersgruppen zeigten vorwiegend Zentrierungen auf den Faktor Füllhöhe. In Kontrast zu Experiment 4a war hier selbst bei den Erwachsenen die Zentrierung auf die Füllhöhe die dominante Strategie. Auch wenn der Durchmesser signifikant berücksichtigt wurde, ging der Effekt meist in die falsche Richtung.

Obwohl die Kinder und Erwachsenen den Durchmesser nicht in ihre Schätzungen einbezogen haben und absolut gesehen die normativen Werte unterschätzten, ist es aber doch erstaunlich, wie konsistent und geordnet ihre Schätzungen waren. Die Konsistenzen waren in allen Altersgruppen sehr hoch, bei den 5-Jährigen sogar noch höher als in Experiment 4a, und dies obwohl die Aufgabe ohne visuelle Rückmeldung eher schwierig und mit grosser Unsicherheit verbunden war, wie aus verbalen Bemerkungen der Kinder und Erwachsenen zu entnehmen war. Ausserdem war keine einzige Strategie nicht zuordenbar. Dies ist höchst wahrscheinlich ebenfalls auf die hohen Konsistenzen in dieser Aufgabe und der damit verbundenen geringen Fehlervarianz zurückzuführen.

Einige Versuchspersonen gaben in der anschliessenden Befragung an, bei dieser Aufgabe leise vor sich hin gezählt zu haben. Dies wäre eine Erklärung für die sehr genaue Reproduktion der Zeitintervalle. Es ist eher unwahrscheinlich, dass eine bewusste Zählstrategie auch für die ebenfalls hohen Konsistenzen mit visueller Kontrolle in Experiment 4a verantwortlich ist, da dort der Durchmesser

zumindest von älteren Kindern berücksichtigt wurde. Dies legt nahe, dass die Kinder nicht aufgrund formaler Überlegungen bewusst auf eine bestimmte Zahl gezählt haben. Es wäre aber durchaus möglich, dass die Kinder und Erwachsenen auch mit visueller Kontrolle unbewusst gezählt oder Zeitintervalle reproduziert haben.

Vergleich zwischen den Experimenten

Während alle Altersgruppen in allen Bedingungen den Faktor Füllhöhe signifikant beachteten (alle $p < .01$; alle $\eta^2 > .32$), ergaben sich alters- und aufgabenspezifische Unterschiede in der Berücksichtigung des Faktors Durchmesser, was auf unterschiedlich gute Vorstellungsleistungen hinweist. Abbildung 77 zeigt im Überblick einen Vergleich der Effektstärken des Faktors Durchmesser für die 6 verschiedenen Aufgaben aus den Experimenten 1, 2 und 4, die von allen vier Altersgruppen gelöst wurden.

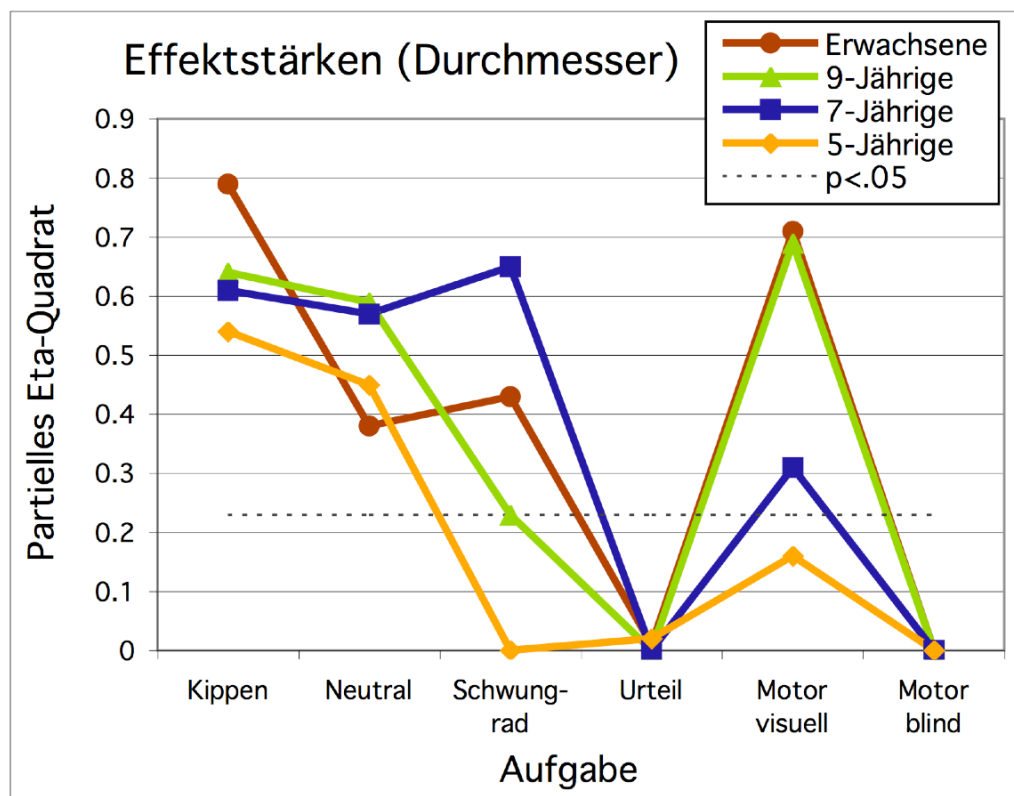


Abbildung 77. Effektstärken (Partielles Eta-Quadrat) des Faktors Durchmesser für vier Altersgruppen und 6 Aufgaben. Effekte unterhalb der gestrichelten Linie waren statistisch signifikant ($p < .05$).

In Abbildung 77 wird erkennbar, dass die 5-Jährigen Kinder vor allem den Durchmesser weniger stark berücksichtigten als die anderen Altersgruppen, wenn das Glas per Fernbedienung durch einen Motor gedreht wurde. In letzte-

rem Falle zeigt sich aber auch, dass obwohl die 5-Jährigen die einzige Altersgruppe darstellen, deren Durchmesser-Effekte das Signifikanzniveau nicht erreichen, auch die 7-Jährigen in dieser Aufgabe den Durchmesser weniger stark berücksichtigen als die älteren beiden Altersgruppen, oder als wenn sie die Gläser selbst drehen konnten. In der Aufgabe mit Schwungrad hatte das zusätzliche Drehmoment ebenfalls einen besonders markanten Einfluss auf die Leistungen der 5-Jährigen. Sie beachteten hier den Durchmesser kaum. Jedoch waren die Effektstärken nicht dem Alter nach abgestuft, sondern die 7-Jährigen schnitten sogar am besten ab, wenn sie das Glas mit zusätzlichem Schwungrad kippen mussten. In der Urteils-Aufgabe und in der blinden Bedingung mit Motor, bei welchen weder visuelle noch sensumotorische Information über die Drehbewegung zur Verfügung stand, zeigten alle Altersgruppen gleich schlechte Leistungen, im Sinne von gleich geringen Effektstärken des Faktors Durchmesser.

Allgemeine Diskussion

In der vorliegenden Arbeit wurde untersucht, ob und ab welchem Alter sich Kinder dynamische Ereignisse vorstellen können, welche die Repräsentation einer horizontalen Wasseroberfläche erfordern, und welche Faktoren für diese Vorstellungsleistung förderlich oder notwendig sind. Dabei lag ein primärer Fokus darauf, inwieweit visuelle und sensumotorische Information über ausgeführte Handlungen die Vorstellung bewegter Ereignisse fördern können.

Im Folgenden wird zuerst auf Ergebnisse eingegangen, die diese grundlegende Fähigkeit betreffen, die Wasseroberfläche als horizontal zu repräsentieren. Anschliessend wird diskutiert, inwiefern sich die Leistungen in den präsentierten Vorstellungsaufgaben bei verschiedenaltigen Kindern unterscheiden, ob ein Zusammenhang besteht zwischen sensumotorischen und mentalen Prozessen, und wie sich diesbezüglich die vorliegende Befunde mit bestehenden Theorien vereinbaren lassen. Danach werden Ergebnisse zur absoluten Genauigkeit der Schätzungen erörtert. Abschliessend wird diskutiert, welche praktischen Implikationen und weiterführenden Forschungsfragen sich aus den vorliegenden Befunden ergeben.

Horizontalitätskonstanz

Schon 5-jährige Kinder bewiesen in den Aufgaben, in denen sie die Gläser aktiv bewegen konnten, ein erstaunlich gutes Wissen über die physikalisch-geometrischen Zusammenhänge und berücksichtigten beide relevanten Dimensionen der Gläser: Durchmesser und Füllhöhe. Diese Resultate bestätigen Befunde aus früheren Studien im Bereich der intuitiven Physik, wonach schon junge Kinder in handlungsnahen Aufgaben ein den Erwachsenen ebenbürtiges Wissen zeigen können, (Black & Schwartz, 1996; Huber et al., 2003; Krist et al., 1993; Krist et al., 1996; Schwartz & Black, 1999; Wilkening, 1980; Wilkening, 1981). In der Auswahl-Aufgabe und ebenfalls in der nonverbalen Urteils-Aufgabe wandten Kinder und Erwachsene jedoch vermehrt eine eindimensionale Strategie an oder trafen sogar falsche Annahmen über die Beziehung zwischen Durchmesser und Kippwinkel. In der hier ebenfalls vorgelegten abstrakteren *Water-Level*-Aufgabe, zeigten die Kinder häufig kein Wissen über die Horizontalität der Wasseroberfläche.

Obwohl es für ein korrektes Lösen jeder dieser Aufgaben von zentraler Bedeutung war, die Wasseroberfläche als horizontal zu repräsentieren, ergaben sich in den verschiedenen Aufgaben deutliche Dissoziationen in den Leistungen. Die Resultate weisen darauf hin, dass die *Water-Level*-Aufgabe und die Handlungs-Aufgabe unterschiedliche Aspekte des Verständnisses von Horizontalität messen. Das Verständnis von Horizontalität kann somit nicht als bereichsübergreifendes globales Konzept gesehen werden, sondern ist in hohem Masse aufgaben- und kontextabhängig. Dies und fehlende Transfereffekte zwischen den Aufgaben legen den Schluss nahe, dass ein Handlungswissen unabhängig von explizierbarem Wissen existiert und dass diese verschiedenen Wissensebenen wenig miteinander interagieren.

Mentale Repräsentationen bei Kindern

Alle Altersgruppen zeigten in der Handlungs-Aufgabe ein Wissen über die physikalisch-geometrischen Zusammenhänge, zu welchem sie in expliziten und abstrakten Aufgaben keinen Zugang hatten. Dies weist darauf hin, dass schon 5-Jährige erfolgreich eine Vorstellungsstrategie anwandten. Diese Befunde widersprechen somit Piaget und Inhelders (1971) Postulat, dass Kinder erst auf der konkret-operationalen Stufe, d. h. ab etwa 7 Jahren, zu kinematischen Vorstellungen fähig sind, und ergänzt Ergebnisse, die gezeigt haben, dass sich schon kleinere Kinder bewegte Ereignisse vorstellen können (Black & Schwartz, 1996; Estes, 1998; Frick, Daum et al., 2005; Funk et al., 2005; Kosslyn et al., 1990; Marmor, 1975, 1977; Rieser et al., 1994).

Experiment 4, in welchem das Glas von einem Motor gedreht wurde, zeigte ausserdem, dass schon 7-Jährige Kinder in der Lage sind, die Vorstellungsaufgabe mithilfe von rein visueller Bewegungsinformation auszuführen. Die visuelle Information über die Position des Glases zu jedem beliebigen Zeitpunkt erleichterte offenbar die Aufrechterhaltung und Kontrolle der vorgestellten Wasseroberfläche. Verbale Äusserungen am Ende des Experiments deuten darauf hin, dass einige Kinder und Erwachsene in dieser Aufgabe möglicherweise eine Zählstrategie angewendet haben, indem sie lautlos zählten, während sie das Glas drehten. Wenn dies der Fall war, reichte aber eine solche Zählstrategie alleine, ohne die visuelle Rückmeldung über die Veränderung der Glasposition über die Zeit, nicht aus um die Aufgabe korrekt zu lösen. Es zeigte sich, dass ohne visuelle Information eine mögliche Zählstrategie zwar zu sehr konsistenten Resultaten führte, aber grösstenteils falsches Regelwissen oder

explizite Annahmen über die Rolle des Durchmessers widerspiegelte. In der Bedingung mit visueller Information war dies jedoch nicht der Fall. Es ist daher anzunehmen, dass bei vorhandener visueller Information entweder nicht nach einer expliziten Regel auf eine bestimmte Zahl gezählt wurde, oder eine Zählstrategie mehr als eine Art Taktgeber verwendet wurde, um die Zeitinformation zu kodieren und damit kognitiv operationalisierbar zu machen.

Diese Resultate ergänzen die Ergebnisse aus Experiment 3, die zeigten, dass ohne visuelle Information die haptische und sensumotorische Information zwar an Wichtigkeit gewinnt, aber nicht ausreicht für eine akkurate Vorstellung des Ereignisses. Die Resultate sind also teilweise – ab einem Alter von 7 Jahren – vereinbar mit Schwartz und Holtons Theorie der *Timing-responsive Representations* (siehe S. 124 oder Schwartz & Holton, 2000). Nicht die aktive Bewegung selber ist die kritische Komponente, die eine kontinuierliche Transformation der mentalen Inhalte begünstigt, sondern auch visuelle Information kann diese Aufgabe übernehmen. Rein zeitliche Information hingegen, ohne die visuelle Information über die Drehbewegung, reicht dazu nicht aus. Aus diesen Resultaten lässt sich schlussfolgern, dass die *visuelle* Information eine wichtige Unterstützung für eine korrekte und kontrollierte Vorstellung eines bewegten Ereignisses liefert.

In weiteren Studien sollte untersucht werden, ob auch Information in einer anderen Modalität, zum Beispiel auditive Information, die Vorstellungsleistungen verbessern kann. Ein Erwachsener, der in der vorliegenden Studie die Aufgabe mit Motor ohne Sicht löste, erklärte, dass er durch Maschinengeräusche auf der Strasse etwas gestört wurde, da er auf das leise Summen des Motors achtete. In Zusammenhang mit der Theorie der *Timing-responsive Representations* (Schwartz & Holton, 2000) wäre also interessant zu untersuchen, ob eine systematische Manipulation der Lautstärke oder des Informationsgehalts der auditiven Information (kontinuierlicher Ton vs. distinkte Takte) einen Effekt auf die Vorstellungsleistungen hat.

Mentale Repräsentationen und Sensumotorik

Bezüglich der Sensitivität gegenüber Manipulationen der dynamischen, haptischen und sensumotorischen Information, ergab sich ein markanter Altersunterschied zwischen den 5-Jährigen und den älteren Gruppen. Die vorliegenden Experimente liefern konvergierende Evidenz dafür, dass jüngere Kinder nebst

visueller Information, vermehrt auf zusätzliche sensumotorische Information und aktiv ausgeführte Handlungen angewiesen sind, zur Unterstützung und Kontrolle der Vorstellungen. Diese Ergebnisse sind im Einklang mit neueren Studien zur mentalen Rotation, die gezeigt haben, dass Vorstellungen jüngerer Kinder durch konkurrierende motorische Handlungen differenziell beeinflusst werden, während die Vorstellungen älterer Kinder zunehmend von motorischen Prozessen unabhängiger werden (Frick, Daum et al., 2005; Funk et al., 2005).

Damit widersprechen die Daten der 5-jährigen Kinder also Schwartz und Holtons Annahmen über *Timing-responsive Representations* (Schwartz & Holton, 2000). Die aktiv ausgeführte Bewegung liefert offenbar bei jüngeren Kindern mehr als nur Information über die Bewegung in der Zeit, denn solche Information wäre auch in der visuellen Bedingung mit Motor reichlich vorhanden gewesen. Die aktiv ausgeführte Handlung scheint also bei jüngeren Kindern eine zusätzliche unterstützende Informationsquelle zu bieten. Es wäre denkbar, dass jüngere Kinder andere Vorstellungsstrategien anwenden, und die Aufgabe mithilfe von *motorischen Vorstellungen* (vorgestellten Handlungen) lösen, während ältere Kinder und Erwachsene die Aufgabe stärker mittels *visuellen Vorstellungen* lösen, und daher von sensumotorischer Rückmeldung weniger abhängig sind. Jüngere Kinder müssen möglicherweise stärker auf gelernte Handlungsschemata zurückgreifen, und werden darin durch fehlende sensumotorische Information beeinträchtigt.

Die 5-Jährigen wurden auch am stärksten durch eine Manipulation der dynamischen Eigenschaften mittels eines angehängten Schwungrads beeinträchtigt, während die älteren Kinder und Erwachsenen davon weitgehend unbeeinflusst blieben. Diese Befunde lassen drei Schlüsse zu. Erstens weisen sie darauf hin, dass ältere Kinder und Erwachsene nicht einfach im Gedächtnis abgespeicherte motorische Kommandos abspielen, sondern adaptiv auf die veränderte Dynamik der Bewegung eingehen. Zweitens bestärkt dieses Ergebnis die oben genannten Annahmen, dass jüngere Kinder stärker auf gelernte Handlungsschemata zurückgreifen müssen, und daher auf gewohnte sensumotorische Rückmeldung angewiesen sind. Drittens zeigt dieses Resultat, dass auch schon die Vorstellungen der 5-Jährigen sensitiv für dynamische Aspekte sind. Würde die Aufgabe mithilfe von rein kinematischen Vorstellungen oder aufgrund von geometrischen Überlegungen über die Endposition gelöst, dürfte die dynamische Manipulation keine Rolle spielen. Gerade bei den 5-Jährigen scheinen aber dynamische Aspekte einen sehr grossen Einfluss auszuüben.

Dieser Unterschied zwischen den 5-Jährigen und den älteren Kindern würde auf den ersten Blick in Piagets Stufentheorie passen und könnte darauf hinweisen, dass Kinder erst auf konkret-operationaler Stufe die Aufgabe ohne motorische Unterstützung lösen können. Jedoch ist der gefundene Altersunterschied nicht absolut zu sehen. Auch 7-Jährige beachteten den Durchmesser weniger stark, wenn sie die Drehbewegung nicht selber aktiv ausführen konnten und nur visuelle Information über die Drehung zur Verfügung hatten (siehe Abbildung 77). Ihre Leistung verschlechterte sich dadurch aber weniger als bei den 5-Jährigen, so dass die Durchmesser-Effekte trotzdem noch statistisch signifikant waren. Die Effektstärken weisen darauf hin, dass die Entwicklung nicht ganz so sprunghaft verläuft, wie es uns die Verwendung eines statistischen Signifikanzniveaus suggeriert.

Ausserdem stimmen die Ergebnisse auch nicht eindeutig mit den formalen Definitionen der Piaget'schen Entwicklungsstufen überein. Diesen zufolge könnte man einen markanten Unterschied in der Vorstellungsleistung zwischen der konkret-operationalen und der formal-operatorischen Stufe erwarten, also dann, wenn Kinder nach formaler Definition gedanklich von konkreten Erfahrungen unabhängiger werden und beginnen mit hypothetischen Sachverhalten zu operieren. Es wäre also ab etwa 10 bis 12 Jahren ein markanter Performanzunterschied zu erwarten. Hingegen wären markante Unterschiede in der Rolle sensumotorischer Rückmeldung theoretisch schon früher, beim Übergang von der sensumotorischen zur präoperationalen Stufe, zu erwarten. Kinder, welche die sensumotorische Phase überwunden haben, sollten laut Piagets Stufenkonzeption von sensumotorischer Erfahrung weitgehend unabhängig sein. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass dies nicht der Fall ist.

Eine Annahme, die von den Ergebnissen zumindest teilweise bestätigt wird, ist Kosslyns (1978; 1980) Hypothese der repräsentationalen Entwicklung, wonach im Laufe der kognitiven Entwicklung zunächst sensumotorische Wissensstrukturen (Schemata), und erst später räumlich-bildhafte Vorstellungen ausgebildet werden. Das Resultat, dass insbesondere jüngere Kinder noch stärker auf gewohnte sensumotorische Rückmeldung angewiesen sind und rein visuelle Information nicht genügt, unterstützt diese Hypothese.

Ein weiteres Resultat, das insofern Beachtung verdient, als es nicht mit Resultaten aus früheren Studien übereinstimmt, ist dass ohne visuelle Information auch Erwachsene den Durchmesser in der neutralen Bedingung nicht beachtet haben. In den Studien von Schwartz und Mitarbeitern (Schwartz, 1999;

Schwartz & Black, 1999) kippten die Erwachsenen die dünnen Gläser auch mit geschlossenen Augen in der Regel weiter als die dicken. Eine nachträgliche Korrektur des Kippwinkels unter visueller Kontrolle konnte jedoch die absolute Genauigkeit noch verbessern (Schwartz & Black, 1999), was mit dem vorliegenden Resultat übereinstimmt, das blind die Gläser weniger weit gedreht wurden. Eine Erklärung für die unterschiedlichen Resultate zwischen den vorliegenden und früheren Experimenten ohne visuelle Kontrolle könnte sein, dass die hier verwendete Drehapparatur – im Vergleich zu einem Kippen der Gläser in der Luft – weniger Freiheitsgrade zulässt. Es wäre denkbar, dass bei fehlender visueller Rückmeldung auch Erwachsene auf gelernte Handlungsschemata zurückgreifen müssen und dabei die Restriktion der Bewegung auf eine fixe Drehachse hinderlich ist.

Absolute Genauigkeit

Obwohl die absoluten Kippwinkel in der vorliegenden Studie nicht von primärem Interesse waren, ergab sich diesbezüglich doch ein interessantes Nebenergebnis. Je älter die Kinder und Erwachsenen waren, desto weniger weit kippten sie im Mittel die Gläser und desto mehr unterschätzten sie die Winkel, bei denen das Wasser tatsächlich zum Glasrand gelangen würde. Dieses Resultat zeigte sich sowohl in den Handlungs-Aufgaben, als auch in der Urteils-Aufgabe und betraf vor allem die dünnen Gläser. Frühere Studien (Schwartz, 1999; Schwartz & Black, 1999) brachten vergleichbare Ergebnisse hervor. Schwartz und Black (1999) untersuchten die Möglichkeit, dass diese Unterschätzung durch eine einfache geometrische Strategie zustande gekommen sein könnte. Es wäre denkbar, dass das Glas in aufrechter Position mit dem Zeigfinger an der Stelle gefasst wurde, an der das Wasser die Seite des Glases berühren würde. Danach könnte das Glas so weit gedreht worden sein, bis eine gedachte Linie zwischen dem Zeigfinger und dem gegenüberliegenden Glasrand eine horizontale Ausrichtung erreicht hätte. Mit einer Variante der Wasserglas-Kipp-Aufgabe, bei der das Glas zuerst auf den Kopf gedreht wurde und dann von unten her zum entsprechenden Winkel gedreht werden sollte, konnten Schwartz und Black diese Möglichkeit für Erwachsene ausschließen. Der Befund der vorliegenden Experimente, dass bei jüngeren Kindern die Unterschätzung geringer war als bei Erwachsenen, spricht dafür, dass auch die Kinder keine solche geometrische Strategie angewendet haben.

Die Tatsache, dass vor allem dünne Gläser unterschätzt wurden und sich auch in der Urteils-Aufgabe ein systematischer Schätzfehler zeigte, legt eine andere Interpretation nahe. Dünne Gläser sind im Alltag viel seltener anzutreffen und somit könnten Fehlannahmen, aufgrund weniger ausgeprägter Erfahrung mit dünnen Gläsern, für die systematische Unterschätzung verantwortlich sein. Die Erwachsenen und älteren Kindern sind möglicherweise stärker von solchen Fehlannahmen beeinflusst worden, da sie überlegter an die Aufgabe heran gingen, während sich die jüngeren Kinder stärker auf das (akkuratere) Handlungswissen verließen.

Auch dieses Resultat ist mit Kosslyns (1978; 1980) Hypothese der repräsentationalen Entwicklung vereinbar, und es lässt sich eine Parallele erkennen zu seinen Ergebnissen (Kosslyn, 1976b), dass 6-Jährige sogar häufiger spontan auf Vorstellungen zurückgreifen als ältere Kinder oder Erwachsene. Schwartz (1996) konnte zwar zeigen, dass auch Erwachsene auf eine Strategie der Handlungssimulation zurückgreifen, wenn ihr deskriptives Wissen nicht zum Ziel führt. Erwachsene scheinen sich jedoch im vorliegenden Fall nicht so sehr auf diese Simulationen zu verlassen wie jüngere Kinder – und dies sogar obwohl sie über gleich wenig (oder teilweise sogar noch inkorrektteres) deskriptives Wissen verfügten wie die Kinder. Eine mögliche Erklärung dafür wäre, dass die Erwachsenen ihrem deskriptiven Wissen mehr Vertrauen schenken als die Kinder. Die Ergebnisse aus der Auswahl-Aufgabe in Experiment 1 zeigten jedoch, dass die Erwachsenen viel häufiger als die Kinder angaben, sich bei der Antwort nicht sicher zu sein, was diese Erklärung entkräftet. Die Resultate deuten also darauf hin, dass jüngere Kinder nicht nur Vorstellungsstrategien anwenden, sondern sich auch stärker auf diese verlassen als 9-Jährige und Erwachsene.

Praktische Implikationen

Der Befund, dass jüngere Kinder auch bei kognitiven Prozessen noch vermehrt auf motorische Unterstützung angewiesen sind, hat damit Implikationen für didaktische Konzepte und pädagogische Interventionen. Jüngere Kinder nutzen spontan motorische Strategien. Sie nehmen beispielsweise ihre Hände beim Zählen und Rechnen zu Hilfe um sich den Zahlenraum besser vorstellen zu können. Die vorliegenden Ergebnisse unterstreichen die Wichtigkeit solcher motorischer Aktivität und handlungsbetonter Lernformen. Motorische Strategien, wie beispielsweise das Rechnen mit Fingern, sollten folglich nicht als

defizitär angesehen und unterbunden werden, sondern im Gegenteil handlungs-
betonte Lernstrategien gefördert werden.

Gerade körperliche Beschäftigungen nehmen heute jedoch durch die zunehmende Mediatisierung (Computer, Internet, Fernsehen usw.) im Alltag der Kinder immer weniger Raum ein. Die damit verbundene Bewegungsarmut ist besonders gravierend, wenn wir davon ausgehen, dass motorische Aktivität auch kognitive Prozesse unterstützt. Pädagogische Konzepte wie beispielsweise das der Psychomotorik bieten daher viel versprechende Ansätze, die versuchen der zunehmenden Bewegungslosigkeit zu begegnen, indem sie Aktivität, Spiel, den Umgang mit Objekten und dem eigenen Körper fördern. Aber auch sportliche Aktivitäten und genügend Bewegungsfreiraum können nicht nur zur körperlichen Gesundheit, sondern auch zur kognitiven Entwicklung beitragen.

Ausblick

Um jedoch diese pädagogischen Ansätze weiter zu entwickeln und konkrete Empfehlungen für didaktische Konzepte abzuleiten, besteht ein dringender Bedarf, mehr über die Zusammenhänge zwischen motorischen und kognitiven Prozessen zu erfahren. Die vorliegenden Resultate zeigen, dass dabei insbesondere altersspezifische Unterschiede nicht ausser Acht gelassen werden dürfen. Gerade entwicklungspsychologische Untersuchungen sind in diesem Forschungsbereich aber bislang nur sehr spärlich vorhanden.

In weiteren Untersuchungen sollte der Einfluss von gelernten motorischen Schemata auf mentale Repräsentationen näher untersucht werden. Dies wäre beispielsweise möglich mithilfe ungewohnter Handlungen, wie das Benutzen der nicht dominanten Hand oder Bewegungen gegen die natürliche Richtung (z. B. ein Glas auswärts oder von sich weg zu kippen). Untersuchungen mit blinden Kindern und Erwachsenen dürften Aufschluss darüber geben, welchen Einfluss visuelle Vorerfahrung auf dynamische Vorstellungen hat. Zudem würden Manipulationen von weiteren dynamischen Komponenten wertvolle Hinweise liefern, welche Faktoren relevant sind für eine realitätsnahe mentale Repräsentation von physikalischen Ereignissen, und welches intuitive Wissen Kinder und Erwachsene über dynamische physikalische Gesetzmässigkeiten besitzen.

Fazit

Schon 5-jährige Kinder bewiesen in den handlungsnahen Aufgaben, in denen sie die Gläser aktiv und unter visueller Kontrolle drehen konnten, ein den Erwachsenen ebenbürtiges Wissen und wandten erfolgreich eine Vorstellungsstrategie an. In abstrakten Urteils-Aufgaben und in handlungsnahen Aufgaben ohne visuelle Information wurden in allen Altersgruppen bedeutend schlechtere Leistungen festgestellt. Die Ergebnisse zeigten, dass schon 5-Jährige dynamische Aspekte in ihre Vorstellungen integrieren, und sogar stärker als ältere Kinder und Erwachsene durch eine Störung der gewohnten dynamischen Bedingungen beeinflusst werden. Die Experimente liefern konvergierende Evidenz dafür, dass jüngere Kinder auch mit visueller Kontrolle noch vermehrt auf eine aktive motorische Unterstützung und sensumotorische Rückmeldung angewiesen sind, um sich bewegte Ereignisse vorstellen zu können.

Literatur

- Anderson, N. H. (1982). *Methods of information integration theory*. New York: Academic Press.
- Anderson, N. H., & Cuneo, D. O. (1978). The height + width rule in children's judgments of quantity. *Journal of Experimental Psychology: General*, 107, 335-378.
- Anderson, N. H., & Wilkening, F. (1991). Adaptive thinking in intuitive physics. In N. H. Anderson (Ed.), *Contributions to information integration theory. Vol. III: Developmental* (pp. 1-42). Hillsdale, NJ, England: Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- Baillargeon, R. (1986). Representing the existence and the location of hidden objects: Object permanence in 6- and 8-month-old infants. *Cognition*, 23, 21-41.
- Baillargeon, R. (1987). Object permanence in 3 1/2 and 4 1/2-month-old infants. *Developmental Psychology*, 23, 655-664.
- Baillargeon, R. (1991). Reasoning about the height and location of a hidden object in 4.5- and 6.5-month-old infants. *Cognition*, 38, 13-42.
- Baillargeon, R. (1993). The object concept revisited: New direction in the investigation of infants' physical knowledge. In C. Granrud (Ed.), *Visual perception and cognition in infancy* (pp. 265-315). Hillsdale, NJ, England: Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- Black, T., & Schwartz, D. L. (1996, June). *When imagined actions speak louder than words*. Paper presented at the annual meeting of the Jean Piaget Society, Philadelphia.
- Bozzi, P. (1958). Analisi fenomenologica del moto pendolare armonica [Phenomenological analysis of pendular harmonic motion]. *Rivista di Psicologia*, 52, 281-302.
- Bruner, J. S., Olver, R. R., & Greenfield, P. M. (1966). *Studies in cognitive growth*. New York: Wiley.
- Campos, A., & Perez, M. J. (1988). Vividness of Movement Imagery Questionnaire: Relations with other measures of mental imagery. *Perceptual and Motor Skills*, 67, 607-610.
- Caramazza, A., McCloskey, M., & Green, B. (1981). Naive beliefs in "sophisticated" subjects: Misconceptions about trajectories of objects. *Cognition*, 9, 117-123.
- Carey, S., & Spelke, E. (1996). Science and core knowledge. *Philosophy of Science*, 63, 515-533.
- Charpentier, A. (1891). Analyse expérimentale: De quelques éléments de la sensation de poids. *Archives de Physiologie Normale et Pathologique*, 3, 122-135.

- Clement, J. (1982). Student's preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 50, 66-71.
- Clement, J. (1983). A conceptual model discussed by Galileo and used intuitively by physics students. In D. Genter & A. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 325-340). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- Clement, J. (1994). Use of physical intuition and imagistic simulation in expert problem solving. In D. Tirosh (Ed.), *Implicit and explicit knowledge* (Vol. 6, pp. 204-244). Westport, CT, US: Ablex Publishing.
- Cooper, L. A. (1975). Mental rotation of random two-dimensional shapes. *Cognitive Psychology*, 7, 20-43.
- Cooper, L. A., & Shepard, R. N. (1973). The time required to prepare for a rotated stimulus. *Memory and Cognition*, 1, 246-250.
- Cooper, L. A., & Shepard, R. N. (1975). Mental transformation in the identification of left and right hands. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1, 48-56.
- Corballis, M. C., & McLaren, R. (1982). Interaction between perceived and imagined rotation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 8, 215-224.
- Daum, M. M. (2005) *Dynamische mentale Repräsentationen bei Kindern und Erwachsenen: Der Einfluss von Perzeption und Kognition auf das repräsentational momentum*. Dissertation, Universität Zürich.
- Estes, D. (1998). Young children's awareness of their mental activity: The case of mental rotation. *Child Development*, 69, 1345-1360.
- Finke, R. A. (1979). The functional equivalence of mental images and error of movement. *Cognitive Psychology*, 11, 113-132.
- Finke, R. A. (1980). Levels of equivalence in imagery perception. *Psychological Review*, 87, 113-132.
- Finke, R. A. (1985). Theories relating mental imagery to perception. *Psychological Bulletin*, 98, 236-259.
- Finke, R. A., Freyd, J. J., & Shyi, G. C. (1986). Implied velocity and acceleration induce transformations of visual memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 115, 175-188.
- Fodor, J. A. (1975). *The language of thought*. New York: Thomas.
- Foorman, B. R. (1981). A neoPiagetian analysis of four-year-olds' performance on Piaget's Water-level Task. *Perceptual and Motor Skills*, 52, 631-639.
- Freyd, J. J. (1987). Dynamic mental representations. *Psychological Review*, 94, 427-438.
- Freyd, J. J., & Finke, R. A. (1984). Representational momentum. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 10, 126-132.

- Frick, A., Daum, M. M., Walser, S., & Mast, F. W. (2005). Developmental Changes in the Interference of Motor Processes with Mental Rotation. In B. G. Bara, L. Barsalou, M. Bucciarelli (Eds.), *Proceedings of the CogSci2005 XXVII Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 720-725). Stresa, Italy.
- Frick, A., Huber, S., Reips, U.-D. & Krist, H. (2005). Task-specific knowledge of the law of pendulum motion in children and adults. *Swiss Journal of Psychology*, 64, 103-114.
- Funk, M. Brugger, P., & Wilkening, F. (2005) Motor processes in children's imagery: The case of mental rotation of hands. *Developmental Science*, 8, 402-408.
- Gallistel, C. R. (1990). *The organization of learning*. Cambridge, MA, US: The MIT Press.
- Gentner, D., Brem, S., Ferguson, R. W., Markman, A. B., Levidow, B. B., Wolff, P., & Forbus, K. D. (1997). Analogical reasoning and conceptual change: A case study of Johannes Kepler. *Journal of the Learning Sciences*, 6, 3-40.
- Gibson, J. J. (1962). Observations on active touch. *Psychological Review*, 69, 477-490.
- Gilden, D., Blake, R., & Hurst, G. (1995). Neural adaptation of imaginary visual motion. *Cognitive Psychology*, 28, 1- 16.
- Gilden, D. L., & Proffitt, D. R. (1989). Understanding collision dynamics. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, 372-383.
- Hatano, G., & Inagaki, K. (1994). Young children's naive theory of biology. *Cognition*, 50, 171-188.
- Hecht, H., & Proffitt, D. R. (1995). The price of expertise: Effects of experience on the water-level task. *Psychological Science*, 6, 90-95.
- Hegarty, M. (1992). Mental animation: Inferring motion from static displays of mechanical systems. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 18, 1084-1102.
- Hegarty, M., Just, M. A., & Morrison, I. R. (1988). Mental models of mechanical systems: Individual differences in qualitative and quantitative reasoning. *Cognitive Psychology*, 20, 191-236.
- Hubbard, T. L. (1995a). Cognitive representation of motion: Evidence for friction and gravity analogues. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21, 241-254.
- Hubbard, T. L. (1995b). Environmental invariants in the representation of motion: Implied dynamics and representational momentum, gravity, friction, and centripetal force. *Psychonomic Bulletin and Review*, 2, 322-338.

- Hubbard, T. L. (1996). Representational momentum, centripetal force, and curvilinear impetus. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22, 1049-1060.
- Hubbard, T. L. (1997). Target size and displacement along the axis of implied gravitational attraction: Effects of implied weight and evidence of representational gravity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 23, 1484-1493.
- Hubbard, T. L., & Ruppel, S. E. (2002). A possible role of naive impetus in Michotte's "launching effect": Evidence from representational momentum. *Visual Cognition*, 9, 153-176.
- Huber, S. (2003). Eye movements, mental imagery and knowledge of object motion. Manuscript submitted for publication.
- Huber, S., Krist, H., & Wilkening, F. (2003). Judgment and action knowledge in speed adjustment tasks: Experiments in a virtual environment. *Developmental Science*, 6, 197-210.
- Janke, B. (1995). Entwicklung naiven Wissens über den physikalischen Auftrieb: Warum schwimmen Schiffe? *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 27, 122-138.
- Jolicoeur, P., & Cavanagh, P. (1992). Mental rotation, physical rotation, and surface media. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 371-384.
- Jones, L. A. (1986). Perception of force and weight: Theory and research. *Psychological Bulletin*, 100, 29-42.
- Kaiser, M. K., Jonides, J., & Alexander, J. (1986). Intuitive reasoning about abstract and familiar physics problems. *Memory and Cognition*, 14, 308-312.
- Kaiser, M. K., McCloskey, M., & Proffitt, D. R. (1986). Development of intuitive theories of motion: Curvilinear motion in the absence of external forces. *Developmental Psychology*, 22, 67-71.
- Kaiser, M. K., & Proffitt, D. R. (1984). The development of sensitivity to causally relevant dynamic information. *Child Development*, 55, 1614-1624.
- Kaiser, M. K., Proffitt, D. R., & Anderson, K. (1985). Judgments of natural and anomalous trajectories in the presence and absence of motion. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 11, 795-803.
- Kaiser, M. K., Proffitt, D. R., Whelan, S. M., & Hecht, H. (1992). Influence of animation on dynamical judgments. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 669-689.
- Kalichman, S. C. (1988). Individual differences in water-level task performance: A component-skills analysis. *Developmental Review*, 8, 273-295.

- Karmiloff-Smith, A. (1992). *Beyond modularity: A developmental perspective on cognitive science*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Kerzel, D. (2002). 'Representational Momentum': Wahrnehmung oder Kognition? Representational momentum: Dynamics of perceptual processes, not dynamics of mental representations. *Psychologische Rundschau*, 53, 101-108.
- Kohn, A. S. (1993). Preschoolers' reasoning about density: Will it float? *Child Development*, 64, 1637-1650.
- Kosslyn, S. M. (1973). Scanning visual images: Some structural implications. *Perception and Psychophysics*, 14, 90-94.
- Kosslyn, S. M. (1976a). Can imagery be distinguished from other forms of internal representation? Evidence from studies of information retrieval times. *Memory and Cognition*, 4, 291-297.
- Kosslyn, S. M. (1976b). Using imagery to retrieve semantic information: A developmental study. *Child Development*, 47, 434-444.
- Kosslyn, S. M. (1978). The representational-development hypothesis. In P. A. Ornstein (Ed.), *Memory development in children* (pp. 157-189). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Kosslyn, S. M. (1980). *Image and mind*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Kosslyn, S. M. (1994). *Image and brain: The resolution of the imagery debate*. Cambridge, MA, US: The MIT Press.
- Kosslyn, S. M., Digirolamo, G. J., Thompson, W. L., & Alpert, N. M. (1998). Mental rotation of objects versus hands: Neural mechanisms revealed by positron emission tomography. *Psychophysiology*, 35, 151-161.
- Kosslyn, S. M., Margolis, J. A., Barrett, A. M., Goldknopf, E. J., & Daly, P. F. (1990). Age differences in imagery ability. *Child Development*, 61, 995-1010.
- Kosslyn, S. M., & Thompson, W. L. (2003). When is early visual cortex activated during visual mental imagery? *Psychol Bull*, 129, 723-746.
- Kosslyn, S. M., Thompson, W. L., Kim, I. J., & Alpert, N. M. (1995). Topographical representations of mental images in primary visual cortex. *Nature*, 378, 496-498.
- Kotovskiy, L., & Baillargeon, R. (1994). Calibration-based reasoning about collision events in 11-month-old infants. *Cognition*, 51, 107-129.
- Kozhevnikov, M., & Hegarty, M. (2001). Impetus beliefs as default heuristics: Dissociation between explicit and implicit knowledge about motion. *Psychonomic Bulletin and Review*, 8, 439-453.
- Krist, H. (2000). Development of naive beliefs about moving objects: The straight-down belief in action. *Cognitive Development*, 15, 281-308.

- Krist, H., Fieberg, E. L., & Wilkening, F. (1993). Intuitive physics in action and judgment: The development of knowledge about projectile motion. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 19, 952-966.
- Krist, H., Loskill, J., & Schwarz, S. (1996). Intuitive Physik in der Handlung: Perzeptiv-motorisches Wissen ueber Flugbahnen bei 5-7jaehrigen Kindern. Intuitive physics in action: Perceptual-motor knowledge about projectile motion in 5-7-year-old children. *Zeitschrift fuer Psychologie*, 204, 339-366.
- Krist, H., & Wilkening, F. (1991). Repraesentationale Entwicklung. *Sprache and Kognition*, 10, 181-195.
- Liben, L. S. (1991a). Adults' performance on horizontality tasks: Conflicting frames of reference. *Developmental Psychology*, 27, 285-294.
- Liben, L. S. (1991b). The Piagetian water-level task: Looking beneath the surface. In R. Vasta (Ed.), *Annals of child development*, Vol. 8 (pp. 81-143). London, England: Jessica Kingsley Publishers Ltd.
- Liben, L. S., & Golbeck, S. L. (1980). Sex differences in performance on Piagetian spatial tasks: Differences in competence or performance? *Child Development*, 51, 594-597.
- Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. *Child Development*, 56, 1479-1498.
- Lohaus, A., Kessler, T., Thomas, H., & Gediga, G. (1994). Individuelle Unterschiede bei raeumlichen Faehigkeiten im Kindesalter. Individual differences in spatial abilities of children. *Zeitschrift fuer Entwicklungspsychologie und Paedagogische Psychologie*, 26, 373-390.
- Maehler, C. (1999). Naive Theorien im kindlichen Denken. Intuitive theories in children's thinking. *Zeitschrift fuer Entwicklungspsychologie und Paedagogische Psychologie*, 31, 53-66.
- Marmor, G. S. (1975). Development of kinetic images: When does the child first represent movement in mental images? *Cognitive Psychology*, 7, 548-559.
- Marmor, G. S. (1977). Mental rotation and number conservation: Are they related? *Developmental Psychology*, 13, 320-325.
- Mast, F. W., & Kosslyn, S. M. (2002). Visual mental images can be ambiguous: Insights from individual differences in spatial transformation abilities. *Cognition*, 86, 57-70.
- McAfee, E. A., & Proffitt, D. R. (1991). Understanding the surface orientation of liquids. *Cognitive Psychology*, 23, 483-514.
- McCloskey, M. (1983a). Intuitive physics. *Scientific American*, 248, 122-130.

- McCloskey, M. (1983b). Naive theories of motion. In D. Genter & A. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 229-324). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- McCloskey, M., Caramazza, A., & Green, B. (1980). Curvilinear motion in the absence of external forces: Naive beliefs about the motion of objects. *Science*, 210, 1139-1141.
- McCloskey, M., & Kohl, D. (1983). Naive physics: The curvilinear impetus principle and its role in interactions with moving objects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 9, 146-156.
- McCloskey, M., Washburn, A., & Felch, L. (1983). Intuitive physics: The straight-down belief and its origin. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 9, 636-649.
- Neisser, U. (1976). *Cognition and reality*. San Francisco: Freeman.
- Neisser, U. (1978). Anticipations, images and introspection. *Cognition*, 6, 167-174.
- Olivier, G., & de Mendoza, J. L. J. (2000). Motor dimension of visual mental image transformation processes. *Perceptual and Motor Skills*, 90, 1008-1026.
- Paivio, A., & Clark, J. M. (1991). Static versus dynamic imagery. In C. Cornoldi & M. A. McDaniel (Eds.), *Imagery and cognition* (pp. 221-245). New York: Springer-Verlag.
- Palmer, S. E. (1978). *Fundamental aspects of cognitive representation*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Parsons, L. M. (1987). Imagined spatial transformations of one's hands and feet. *Cognitive Psychology*, 19, 178-241.
- Parsons, L. M. (1994). Temporal and kinematic properties of motor behavior reflected in mentally simulated action. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 709-730.
- Pascual-Leone, J., & Morra, S. (1991). Horizontality of water level: A neo-Piagetian developmental review. In H. W. Reese (Ed.), *Advances in child development and behavior* (Vol. 23, pp. 231-276). New York: Academic Press.
- Perky, C. W. (1910). An experimental study of the imagination. *American Journal of psychology*, 21, 422-452.
- Piaget, J. (1952). *The origins of intelligence in children*. New York: International Universities Press.
- Piaget, J. (1954). *The construction of reality in the child*. New York: Basic Books.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1941). *Le développement des quantités physiques chez l'enfant*. Neuchâtel, Suisse: Delachaux et Niestlé.

- Piaget, J., & Inhelder, B. (1971). *Mental imagery in the child*. New York: Basic.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1975). *Die Entwicklung räumlichen Denkens beim Kinde [la représentation de l'espace chez l'enfant]*. Stuttgart: Ernst Klett Verlag.
- Pine, K. J., Messer, D. J., & Godfrey, K. (1999). The teachability of children with naive theories: An exploration of the effects of two teaching methods. *British Journal of Educational Psychology*, 69, 201-211.
- Pittenger, J. B. (1990). Detection of violations of the law of pendulum motion: Observers' sensitivity to the relation between period and length. *Ecological Psychology*, 2, 55- 81.
- Pulos, S. (1997). Explicit knowledge of gravity and the Water-Level Task. *Learning and Individual Differences*, 9, 233-247.
- Pylyshyn, Z. W. (1973). What the mind's eye tells the mind's brain: A critique of mental imagery. *Psychological Bulletin*, 80, 1-24.
- Pylyshyn, Z. W. (1981). The imagery debate: Analogue media versus tacit knowledge. *Psychological Review*, 88, 16-45.
- Rieser, J. J., Garing, A. E., & Young, M. F. (1994). Imagery, action, and young children's spatial orientation: It's not being there that counts, it's what one has in mind. *Child Development*, 65, 1262-1278.
- Rieser, J. J., Pick, H. L., Ashmead, D. H., & Garing, A. E. (1995). Calibration of human locomotion and models of perceptual-motor organization. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 480-497.
- Runeson, S., & Frykholm, G. (1983). Kinematic specification of dynamics as an informational basis for person-and-action perception: Expectation, gender recognition, and deceptive intention. *Journal of Experimental Psychology: General*, 112, 585-615.
- Schiff, W., & Oldak, R. (1990). Accuracy of judging time to arrival: Effects of modality, trajectory, and gender. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16, 303-316.
- Schwartz, D. L. (1999). Physical imagery: Kinematic versus dynamic models. *Cognitive Psychology*, 38, 433-464.
- Schwartz, D. L., & Berry, D. (2000). Real-time cognition: Coordinating physical and symbolic activity. Manuscript submitted for publication.
- Schwartz, D. L., & Black, J. B. (1996). Shuttling between depictive models and abstract rules: Induction and fallback. *Cognitive Science*, 20, 457-497.
- Schwartz, D. L., & Black, T. (1999). Inferences through imagined actions: Knowing by simulated doing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 25, 116-136.
- Schwartz, D. L., & Hegarty, M. (1996). Coordinating multiple representations for reasoning about mechanical devices. In P. Olivier (Ed.), *AAAI Spring*

Symposium: Cognitive and computational models of spatial representations (pp. 1101-1109). Menlo Park, CA: AAAI Press.

- Schwartz, D. L., & Holton, D. L. (2000). Tool use and the effect of action on the imagination. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 26, 1655-1665.
- Sekiyama, K. (1982). Kinesthetic aspects of mental representations in the identification of left and right hands. *Perception and Psychophysics*, 32, 89-95.
- Sheerer, E. (1984). Motor theories of cognitive structure: A historical review. In W. Prinz & A. F. Sanders (Eds.), *Cognition and motor processes* (pp. 77-97). Berlin: Springer.
- Shelton, A. L., & McNamara, T. P. (1997). Multiple views of spatial memory. *Psychonomic Bulletin and Review*, 4, 102-106.
- Shepard, R. N. (1984). Ecological constraints on internal representation: Resonant kinematics of perceiving, imagining, thinking, and dreaming. *Psychological Review*, 91, 417-447.
- Shepard, R. N. (1994). Perceptual-cognitive universals as reflections of the world. *Psychonomic Bulletin and Review*, 1, 2-28.
- Shepard, R. N., & Cooper, L. A. (1986). *Mental images and their transformations*. Cambridge, MA, US: The MIT Press.
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171, 701-703.
- Sholl, M., & Liben, L. S. (1995). Illusory tilt and Euclidean schemes as factors in performance on the water-level task. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21, 1624-1638.
- Simons, D. J., & Wang, R. F. (1998). Perceiving real-world viewpoint changes. *Psychological Science*, 9, 315-320.
- Sommerville, D., & Cox, M. V. (1988). Sources of error in the Piagetian water-level task. *Perception*, 17, 249-254.
- Spelke, E. S. (1991). Physical knowledge in infancy: Reflections on Piaget's theory. In S. Carey & R. Gelman (Eds.), *The epigenesis of mind: Essays on biology and cognition* (pp. 133-169). Hillsdale, NJ, England: Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- Spelke, E. S., Breinlinger, K., Macomber, J., & Jacobson, K. (1992). Origins of knowledge. *Psychological Review*, 99, 605-632.
- Tarr, M. J., & Pinker, S. (1989). Mental rotation and orientation-dependence in shape recognition. *Cognitive Psychology*, 21, 233-282.
- Thomas, N. J. T. (1999). Are theories of imagery theories of imagination? An active perception approach to conscious mental content. *Cognitive Science*, 23, 207-245.

- Turvey, M. T., Solomon, H. Y., & Burton, G. (1989). An ecological analysis of knowing by wielding. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 52, 387-407.
- Vasta, R., Belongia, C., & Ribble, C. (1994). Investigating the orientation effect on the water-level task: Who? When? and Why? *Developmental Psychology*, 30, 893-904.
- von Hofsten, C. (1980). Predictive reaching for moving objects by human infants. *Journal of Experimental Child Psychology*, 30, 369-382.
- von Hofsten, C. (1983). Catching skills in infancy. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 9, 75-85.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1993). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. 24. *Cognitive Psychology*, 535-585.
- Wexler, M., Kosslyn, S. M., & Berthoz, A. (1998). Motor processes in mental rotation. *Cognition*, 68, 77-94.
- White, B. Y. (1993). ThinkerTools: Causal models, conceptual change, and science education. *Cognition and Instruction*, 10, 100.
- Wilkening, F. (1978). Attention and addition of two dimensions: An alternative to Piaget's centering assumption. *Zeitschrift fuer Entwicklungspsychologie und Paedagogische Psychologie*, 10, 99-102.
- Wilkening, F. (1979). Combining of stimulus dimensions in children's and adults' judgments of area: An information integration analysis. *Developmental Psychology*, 15, 25-33.
- Wilkening, F. (1980). Development of dimensional integration in children's perceptual judgment: Experiments with area, volume, and velocity. In F. Wilkening & J. Becker & T. Trabasso (Eds.), *Information integration by children*. Hillsdale, NJ, England: Lawrence Erlbaum Associates.
- Wilkening, F. (1981). Integrating velocity, time, and distance information: A developmental study. *Cognitive Psychology*, 13, 231-247.
- Wilkening, F., & Anderson, N. H. (1982). Comparison of two rule-assessment methodologies for studying cognitive development and knowledge structure. *Psychological Bulletin*, 92, 215-237.
- Wilkening, F., & Lamsfuss, S. (1993). (Miss-)Konzepte der naiven Physik im Entwicklungsverlauf. In W. Hell & K. Fiedler & G. Gigerenzer (Eds.), *Kognitive Täuschungen: Fehl-Leistungen und Mechanismen des Urteilens, Denkens und Erinnerns* (pp. 271- 290). Heidelberg: Spektrum.
- Williams, M. D., Hollan, J. D., & Stevens, A. L. (1983). Human reasoning about a simple physical system. In D. Genter & A. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 131-153). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- Wohlschläger, A., & Wohlschläger, A. (1998). Mental and manual rotation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24, 397-412.

CURRICULUM VITAE**Sept. 2005****Persönliche Daten:****Frick, Andrea:**

Geboren am: 3. November 1974, St. Gallen
 Bürgerort: St. Gallen – Straubenzell / SG
 Schweiz
 Zivilstand: ledig
 AHV-Nr.: 362.74.834.115

1981 – 1987**Primarschule:**

Primarschule St. Leonhard, St. Gallen

1987 – 1989**Sekundarschule:**

Katholische Kantonssekundarschule St. Gallen

1989 – 1994**Kantonsschule:**

Kantonsschule St. Gallen - Matura Typus B

1994 – 1995

diverse Jobs

3 1/2 Monate Auslandsaufenthalt USA

23. 10. 1995 – 17. 12. 2001**Universität Zürich:**

Hauptfach: Psychologie
 (Allgemeine und
 Entwicklungspsychologie)
 1. Nebenfach: Psychopathologie des Kindes- und
 Jugendalters
 2. Nebenfach: Filmwissenschaft
 Lizentiatsarbeit: *Virtuelle Pendel - realistische
 Vorstellung? Wissen über
 elementare Bewegungsgesetze bei
 Kindern und Erwachsenen*

1997 – 2001

6 Semesterassistenzen während des Studiums am
 Psychologisches Institut der Universität Zürich, davon:
 5 am Lehrstuhl Allgemeine und Entwicklungspsychologie
 1 am Lehrstuhl Biologisch mathematische Psychologie

-
- 2. 2. 1998 – 27. 3. 1998** **Praktikum I** im Rahmen des 1. Nebenfachs
Psychopathologie des Kindes- und Jugendalters, Universität
Zürich:
Städtischer Tageshort für Schulkinder Oberstrasse
Geltenwilenstr. 20, 9000 St. Gallen
Betreut von: Frau J. Siering Sehtom
- 4. 1. 2000 – 24. 3. 2000** **Praktikum II** im Rahmen des 1. Nebenfachs
Psychopathologie des Kindes- und Jugendalters, Universität
Zürich:
Schulpsychologischer Dienst des Kantons St. Gallen
Regionalstelle Rorschach
Müller-Friedbergstrasse 34, Postfach, 9401 Rorschach
Betreut von: Frau A. Kaderli
- 1. 11. 2000 – 31.12.2003** **Mitarbeit im Projekt *Virtueller Campus Schweiz***
#991037
Psychologisches Institut der Universität Zürich
Abteilung Allgemeine und Entwicklungspsychologie
- 1. 1. 2002 – 20. 5. 2005** **Assistentin / Doktorandin:**
Psychologisches Institut der Universität Zürich
Abteilung Allgemeine und Entwicklungspsychologie
Betreut von: Prof. Dr. Friedrich Wilkening
Dissertation: *Entwicklung dynamischer Vorstellungen: Zum
Einfluss visueller und sensumotorischer Information auf die
mentale Repräsentation bewegter Ereignisse*
- 22. 8. 2003 – 5. 9. 2003** **Weiterbildung:**
Kurs: *Applied Analysis of Variance and Linear Modelling*
gehalten durch Prof Dr. Edgar Erdfelder,
an der Summer School on Advanced Methods in the Social
Sciences 2003, organisiert durch SIDOS.
- 1. 5. 2004 –** **Mitarbeit im Projekt *Entwicklung dynamischer
Repräsentationen bei Kindern*** #10-103747/1
unterstützt durch den Schweizerischen Nationalfonds
Psychologisches Institut der Universität Zürich
Abteilung Allgemeine und Entwicklungspsychologie